

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS

E.A.P DE ECONOMÍA

**Una aproximación de los cambios en la productividad
y los determinantes de la eficiencia de los puertos del
Perú**

TESIS

para optar el título profesional de Economista

AUTOR

Víctor Alejandro Chang Rojas

Lima- Perú

2011

Resumen

El sistema portuario nacional cumple un importante rol en la competitividad del comercio exterior. En efecto, el 95% del comercio internacional peruano se realiza por vía marítima. Esto pone en evidencia la importancia de dicho sector como pieza fundamental en el desarrollo del País. En ese sentido, es de suma importancia garantizar que los puertos actúen de manera eficiente y mejoren su productividad, reduciendo de esta manera los costos logísticos.

El principal objetivo de la presente investigación es realizar una medición del desempeño de los puertos regionales del Perú, principalmente de la eficiencia técnica del servicio de prestación de infraestructura portuaria de uso público que se encuentra en las regiones del Perú en el periodo 2002 – 2009, con la finalidad de conocer la situación en la que se encuentran los puertos regionales en nuestro país y en función a ello poder tomar decisiones de política sobre los menos eficientes replicando lo realizado en los más eficientes y proponiéndose nuevas alternativas. Así como la medición del cambio en la Productividad Total de los Factores (PTF) en el periodo 2002 – 2009 y en función a ello, poder explicar las causas de dicha variación. Finalmente, determinar si la ubicación del puerto, el tipo de administración y/o el tamaño de los mismos son variables que explican diferencias de eficiencia y si los indicadores físicos como tiempo de rotación y tasa de ocupación son variables determinantes de la eficiencia.

Para la medición de la eficiencia técnica, se empleó la metodología de Data Envelopment Analysis (DEA), mientras que para corroborar si las variables ambientales o de entorno como la ubicación, el tipo de administración y/o el tamaño del puerto son variables relevantes que explican la diferencia en el nivel de eficiencia de los puertos se sirvió del test no paramétrico de Mann Whitney y el análisis de segunda etapa, sugerido por Coelli (2005), en donde se realiza un modelo tobit. Asimismo, se utilizó dicho análisis de segunda etapa para comprobar si los indicadores físicos empleados en los puertos, como tasa de ocupación y tiempo de rotación son variables que terminan la eficiencia de los puertos regionales del Perú. Por otro lado, con respecto a la medición de la Productividad Total de los Factores (PTF), se aplicó el índice de productividad de Malmquist, el cual mide el cambio en la PTF y muestra cuanto de dicho cambio se atribuye a un cambio en eficiencia técnica pura, cambio tecnológico y cambios en eficiencia de escala.

Para la medición de la eficiencia y cambio en Productividad Total de los Factores, la investigación considera en un primer escenario a los puertos peruanos y posteriormente para darle mayor robustez a los resultados y corroborar si ciertas variables ambientales o de entorno son determinantes del nivel de eficiencia obtenido se incorpora los principales puertos de Chile.

En el caso de los puertos peruanos, se consideraron aquellos que son de atraque directo, tales como Paita, Salaverry, Gral. San Martín, Chimbote, Ilo, que se encuentran administradas por la Empresa Nacional de Puertos S.A. (ENAPU S.A.), y el puerto de Matarani, cuya administración esta a cargo de la empresa privada Terminal Internacional del Sur (TISUR). En lo que respecta a los puertos Chilenos, se consideró los principales puertos más representativos de Chile como San Antonio Terminal Internacional (STI) y Terminal Pacífico Sur Valparaíso (TPS). Asimismo aquellos que se encuentran ubicados al norte de Chile como el puerto de Angamos, Arica Terminal Internacional (ATI), Iquique Terminal Internacional (ITI), San Vicente, y Terminal Portuario de Arica (TPA).

Los resultados obtenidos, con respecto al nivel de eficiencia técnica, muestran que los puertos peruanos más eficientes, en promedio para el periodo 2004 - 2009, resultaron ser el puerto del Callao, el puerto de Paita y Matarani, seguido de San Martín, Ilo, Chimbote y Salaverry. Con respecto a los puertos de Chile los que obtuvieron el primer lugar fueron el puerto de Angamos y TPS seguido por STI.

Con respecto al cambio en la Productividad Total de los Factores, tomando en consideración sólo la muestra de los puertos peruanos, se puede concluir que hubo un incremento en la productividad en los puertos peruanos para el periodo 2002 – 2009 que fue en promedio aproximadamente 3.5% por año. Dicho cambio se explica en su mayor parte por el componente de Cambio Tecnológico (CT), el cual a su vez es explicado por un shock exógeno producido por la mayor demanda derivada de la infraestructura y servicios portuarios, ya que en los puertos peruanos la inversión ha sido mínima, a excepción de la realizada en el puerto del Callao, adquiriendo dos grúas portacontenedores, y en el puerto de Matarani, donde se ha realizado inversiones que corresponden principalmente a la ampliación de capacidad de almacenamiento de silos para granos, la instalación de una torre absorbente para granos, la ampliación de la faja transportadora de minerales y a un nuevo sistema de embarque de minerales.

El cambio en la Productividad Total de los Factores para el periodo 2004 – 2009 fue en promedio prácticamente nulo en cada año, encontrándose en un rango de entre 0.57% para el modelo que incluye sólo a los puertos peruanos y -1.14% para el modelo que incluye todos los puertos mencionados. Lo que nos muestra cierta robustez de los resultados. Asimismo se encontró que una parte importante del crecimiento fue obtenido durante el primer periodo de análisis (años 2002 y 2003) y además que la crisis financiera internacional afectó de manera importante al Perú en cuanto al tráfico portuario, lo que se refleja en una importante caída en la

productividad total de los factores para el año 2009 representada por una caída importante en el Cambio Tecnológico (CT).

Según el test no paramétrico de Mann Whitney y el análisis de segunda etapa mediante el modelo tobit, se encuentra evidencia concluyente de que el tamaño del puerto es una variable determinante de la eficiencia. En específico, los puertos más grandes de la muestra, que tienden a ser considerados como puertos hub (Callao, Valparaíso (TPS) y San Antonio (STI)), resultarían ser los más eficientes. Esto se puede explicar por las mayores economías a escala que se obtienen por el mayor volumen de carga atendida y las economías de ámbito desarrolladas. Por otro lado, no se encuentra evidencia suficiente para argumentar que el tipo de gestión, sea pública o privada; o la ubicación geográfica, sea peruana o chilena, sean variables que determinen la eficiencia de los puertos. Sin embargo, estos resultados podrían atribuirse a que, con respecto a los puertos de Chile, no se contó con la información de los inputs de manera desagregada para cada tipo de servicio; es decir, servicios a la nave y servicios a la carga. Por ello, al haberse tomado inputs mayores para el caso de los puertos chilenos (ya que no se pudo desagregar), las medidas de eficiencia calculadas, al considerar la información de los puertos peruanos y chilenos, estarían en cierta medida sobreestimada para los puertos del Perú o subestimada para los puertos de Chile.

Se observa que los puertos chilenos de la muestra tomada, durante el periodo 2004 – 2009, sufrieron un avance en el progreso tecnológico (2.3% promedio anual), derivado principalmente del mejoramiento de los terminales y la incorporación de equipos y diversos tipos de grúas, inversión que se permite debido al entorno institucional en el que operan las empresas privadas, llegando a contrarrestar incluso el efecto negativo de la crisis financiera internacional. Mientras que, por el contrario en los puertos peruanos ha habido poco incremento tecnológico derivado de la reducida inversión realizada. Además, los puertos chilenos mostraron ser menos ineficientes que los puertos peruanos, en cuanto al nivel de escala de operación.

La estimación de segunda etapa, con el modelo tobit, respecto a los indicadores físicos de los puertos, como tasa de ocupabilidad y tiempo de rotación, resultaron ser significativos al 1% y 6.1% respectivamente. Es decir dichos indicadores físicos resultarían ser variables determinantes del nivel de eficiencia. Sin embargo, los parámetros estimados resultaron ser pequeños. Por otro lado, cabe señalar que los índices físicos mencionados variarán entre los puertos, dependiendo de la composición del tipo de carga que movilicen, es decir si predomina la movilización de carga contenedorizada, rodante, a granel o fraccionada, el tipo de nave que

arriben, la infraestructura y la tecnología existente, la cual está asociado a cada tipo de carga (grúas, fajas transportadora de minerales, torre absorbente para granos, etc).

Dedicado a mis padres y Hermanos Víctor Chang Minaya, Dina Rojas Storck, Miguel Chang Rojas y Arturo Chang Rojas por su confianza y apoyo incondicional.

Tabla de contenido

Resumen.....	2
Introducción	12
I. Problema de Investigación y Justificación	14
II. Objetivos	18
2.1. Objetivo Principal	18
2.2. Objetivos Específicos.....	18
III. Actividades, Características y Servicios Portuarios	19
3.1 Definición de Puerto.....	19
3.2 Importancia de los puertos.....	19
3.3 Características económicas de los puertos.....	21
3.4 Descripción del Área Portuaria.....	22
3.5 Tipos de carga	22
3.6 Servicios Portuarios	23
3.7 Organización de las Actividades del Puerto: La Autoridad Portuaria.....	25
3.8 Niveles de desarrollo de los Puertos.....	26
3.9 Cambios en la industria de transporte en las últimas décadas.....	27
IV. Puertos Públicos de Atraque Directo en el Perú	29
4.1 Puerto de Paita	31
4.2 Puerto de Salaverry	32
4.3 Puerto de Chimbote	33
4.4 Puerto del Callao	34
4.5 Puerto General San Martín	36
4.6 Puerto de Matarani	37
4.7 Puerto de Ilo	37
V. Los Puertos Chilenos	38
VI. Marco Teórico	42

6.1	Medición de la Eficiencia Técnica: Data Envelopment Analysis (DEA).....	49
6.2	Variables Ambientales e Inputs no Controlables	57
6.3	La Productividad Total de los Factores: El Índice de Malmquist.....	60
6.4	Antecedentes de la Medición de Eficiencia y Productividad en la Industria Portuaria..	64
VII.	Hipotesis.....	73
7.1	Hipótesis Principal	73
7.2	Hipótesis Específicas.....	73
VIII.	Marco Metodológico	74
IX.	Indicadores de Eficiencia y Productividad Parcial	79
X.	Cálculo de las medidas de eficiencia técnica y los cambios en la Productividad Total de los Factores (PTF).....	87
10.1	Primer modelo: Puertos Peruanos	87
10.2	Segundo Modelo: Puertos Peruanos y Chilenos	93
XI.	Variables Determinantes de la Eficiencia.....	100
XII.	Conclusiones y recomendaciones	105
12.1	Conclusiones	105
12.2	Recomendaciones	108
XIII.	Bibliografía	110
XIV.	Anexos.....	113

Índice de Cuadros

CUADRO Nº 1:	UMBRALES PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIPO DE COMPETENCIA EN TEU'S.....	27
CUADRO Nº 2:	AMARRADEROS DEL TERMINAL PORTUARIO DE PAITA (TPP)	32
CUADRO Nº 3:	AMARRADEROS DEL TERMINAL PORTUARIO DE SALAVERRY (TPS)	33
CUADRO Nº 4:	AMARRADEROS DEL TERMINAL PORTUARIO DE CHIMBOTE (TPCH)	34
CUADRO Nº 5:	AMARRADEROS DEL MUELLE 5 DEL TERMINAL PORTUARIO DEL CALLAO (TPC) ..	35
CUADRO Nº 6:	AMARRADEROS DEL MUELLE Nº 1, 2, 3, 4, 7 Y 11 DEL TERMINAL PORTUARIO DEL CALLAO (TPC)	35
CUADRO Nº 7:	AMARRADEROS DEL TERMINAL PORTUARIO GENERAL SAN MARTÍN (TPGSM)	36
CUADRO Nº 8:	AMARRADEROS DEL TERMINAL PORTUARIO DE ILO (TPI).....	38
CUADRO Nº 9:	COMPARACIÓN DE LOS MODELOS DEA Y SFA	45
CUADRO Nº 10:	LOS NÚMEROS ÍNDICES Y LA TECNOLOGÍA.....	49
CUADRO Nº 11:	MEDIDAS DE EFICIENCIA Y PRODUCTIVIDAD EN EL SECTOR PORTUARIO APLICANDO LA METODOLOGÍA DEA	71
CUADRO Nº 12:	PERÚ - CARGA CONTENEDORIZADA (TEU'S)	76
CUADRO Nº 13:	CHILE - CARGA CONTENEDORIZADA (TEU'S).....	77
CUADRO Nº 14:	PERÚ - CARGA NO CONTENEDORIZADA (TM)	77
CUADRO Nº 15:	CHILE - CARGA NO CONTENEDORIZADA (TM).....	77
CUADRO Nº 16:	PERÚ - ACTIVO FIJO NETO A VALORES CONSTANTES	78
CUADRO Nº 17:	CHILE - ACTIVO FIJO NETO A VALORES CONSTANTES	78
CUADRO Nº 18:	PERÚ - NÚMERO DE TRABAJADORES	79
CUADRO Nº 19:	CHILE - NÚMERO DE TRABAJADORES.....	79
CUADRO Nº 20:	TIEMPO DE ROTACIÓN (HRS/NAVE)	80
CUADRO Nº 21:	TASA DE OCUPACIÓN DE MUELLES (%).....	80
CUADRO Nº 22:	PERÚ - PRODUCTIVIDAD PARCIAL DEL TRÁFICO TOTAL MOVILIZADO RESPECTO AL CAPITAL (TM / ACTIVO FIJO NETO).....	82
CUADRO Nº 23:	CHILE - PRODUCTIVIDAD PARCIAL DEL TRÁFICO TOTAL MOVILIZADO RESPECTO AL CAPITAL (TM / ACTIVO FIJO NETO).....	82
CUADRO Nº 24:	PERÚ - PRODUCTIVIDAD PARCIAL DEL TRÁFICO TOTAL MOVILIZADO RESPECTO AL TRABAJO (TM / NÚMERO DE TRABAJADORES)	82
CUADRO Nº 25:	CHILE - PRODUCTIVIDAD PARCIAL DEL TRÁFICO TOTAL MOVILIZADO RESPECTO AL TRABAJO (TM / NÚMERO DE TRABAJADORES)	83

CUADRO Nº 26:	PERÚ - PRODUCTIVIDAD PARCIAL DEL TRÁFICO DE CARGA CONTENEDORIZADA RESPECTO AL CAPITAL (TEUS / ACTIVO FIJO NETO)	84
CUADRO Nº 27:	PERÚ - PRODUCTIVIDAD PARCIAL DEL TRÁFICO DE CARGA NO CONTENEDORIZADA RESPECTO AL CAPITAL (TM / ACTIVO FIJO NETO)	84
CUADRO Nº 28:	PERÚ - PRODUCTIVIDAD PARCIAL DEL TRÁFICO DE CARGA CONTENEDORIZADA RESPECTO AL TRABAJO (TEUS/NÚMERO DE TRABAJADORES)	84
CUADRO Nº 29:	PERÚ - PRODUCTIVIDAD PARCIAL DEL TRÁFICO DE CARGA NO CONTENEDORIZADA RESPECTO AL TRABAJO (TM/NÚMERO DE TRABAJADORES)	85
CUADRO Nº 30:	CHILE - PRODUCTIVIDAD PARCIAL DEL TRÁFICO DE CARGA CONTENEDORIZADA RESPECTO AL CAPITAL (TEUS / ACTIVO FIJO NETO)	85
CUADRO Nº 31:	CHILE - PRODUCTIVIDAD PARCIAL DEL TRÁFICO DE CARGA NO CONTENEDORIZADA RESPECTO AL CAPITAL (TM/ ACTIVO FIJO NETO)	86
CUADRO Nº 32:	CHILE - PRODUCTIVIDAD PARCIAL DEL TRÁFICO DE CARGA CONTENEDORIZADA RESPECTO AL TRABAJO (TEUS/NÚMERO DE TRABAJADORES)	86
CUADRO Nº 33:	CHILE - PRODUCTIVIDAD PARCIAL DEL TRÁFICO DE CARGA NO CONTENEDORIZADA RESPECTO AL TRABAJO (TEUS/NÚMERO DE TRABAJADORES)	86
CUADRO Nº 34:	DEA – BCC INPUT ORIENTADO	88
CUADRO Nº 35:	ÍNDICE DE MALMQUIST: PROMEDIO ANUAL	89
CUADRO Nº 36:	ÍNDICE DE MALMQUIST: PROMEDIO ANUAL POR PUERTO	90
CUADRO Nº 37:	DEA – BCC INPUT ORIENTADO	95
CUADRO Nº 38:	ÍNDICE DE MALMQUIST: PROMEDIO ANUAL	97
CUADRO Nº 39:	ÍNDICE DE MALMQUIST: PROMEDIO ANUAL POR PUERTO	99
CUADRO Nº 40:	TEST MANN – WHITNEY	100
CUADRO Nº 41:	MODELO TOBIT CON EFECTOS ALEATORIOS Nº1	102
CUADRO Nº 42:	MODELO TOBIT CON EFECTOS ALEATORIOS Nº2	103

Índice de Gráficos

GRÁFICO Nº 1:	RANKING DE CALIDAD DE INFRAESTRUCTURA PORTUARIA.....	15
GRÁFICO Nº 2:	TIEMPOS DE LA NAVE.....	20
GRÁFICO Nº 3:	EL ÁREA PORTUARIA	22
GRÁFICO Nº 4:	PRINCIPALES SERVICIOS PORTUARIOS	25
GRÁFICO Nº 5:	EVOLUCIÓN DEL TAMAÑO DE LOS BUQUES EN EL TIEMPO	28
GRÁFICO Nº 6:	PERÚ: TRÁFICO DE CARGA MOVILIZADO EN LOS PUERTOS	30
GRÁFICO Nº 7:	PERÚ: PARTICIPACIÓN DEL TRÁFICO DE CARGA POR PUERTO: 2002-2009.....	30
GRÁFICO Nº 8:	PERÚ: STOCK DE ACTIVO FIJO NETO (BASE 2000).....	31
GRÁFICO Nº 9:	CHILE: TRÁFICO DE CARGA MOVILIZADO POR PUERTO	39
GRÁFICO Nº 10:	CHILE: PARTICIPACIÓN DEL TRÁFICO DE CARGA POR PUERTO: 2002-2009	40
GRÁFICO Nº 11:	CHILE: STOCK DE ACTIVO FIJO NETO (BASE 2000)	41
GRÁFICO Nº 12:	MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA.....	46
GRÁFICO Nº 13:	RENDIMIENTOS A ESCALA Y DESCOMPOSICIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA.....	53
GRÁFICO Nº 14:	CAMBIO EN EFICIENCIA TÉCNICA Y CAMBIO TECNOLÓGICO	62
GRÁFICO Nº 15:	EVOLUCIÓN DEL VALOR DEL ACTIVO FIJO POR PAÍS: PERÚ-CHILE	98
GRÁFICO Nº 16 :	EVOLUCIÓN DEL VALOR DEL ACTIVO FIJO POR PUERTO: PERÚ-CHILE	98
GRÁFICO Nº 18:	DIFERENCIA ENTRE PRODUCTIVIDAD Y EFICIENCIA	113
GRÁFICO Nº 19:	MEDIDAS DE EFICIENCIA TÉCNICA ORIENTADAS AL INPUT	114
GRÁFICO Nº 20:	MEDIDAS DE EFICIENCIA TÉCNICA ORIENTADAS AL OUTPUT	115
GRÁFICO Nº 21:	EFICIENCIA TÉCNICA, EFICIENCIA ASIGNATIVA Y EFICIENCIA GLOBAL.....	117
GRÁFICO Nº 22:	MEDICIÓN EMPÍRICA DEL CONCEPTO DE EFICIENCIA	119
GRÁFICO Nº 23:	DIFERENCIA ENTRE LA FRONTERA RCE Y RVE.....	124

Introducción

El Perú enfrenta un creciente déficit de infraestructura para la provisión de servicios públicos, en particular el vinculado con la infraestructura de transporte, entre ellos los puertos. Según el Informe de Competitividad Global 2010-2011, el Perú ocupa el puesto 92 en Índice de calidad global de infraestructura y el puesto 113 en el índice de calidad de la infraestructura portuaria de un total de 131 países.

El sistema portuario nacional cumple un importante rol en la competitividad del comercio exterior. En efecto, el 95% del comercio internacional peruano se realiza por vía marítima. Esto pone en evidencia la importancia de dicho sector como pieza fundamental en el desarrollo del País. En ese sentido, es de suma importancia garantizar que éstos actúen de manera eficiente para reducir los costos logísticos.

Una de las preocupaciones de los reguladores de la infraestructura portuaria es lograr que parte de esas eficiencias se trasladen a los consumidores mediante menores tarifas. Fruto de este interés, surge una amplia literatura que analiza la eficiencia de este sector. Sin embargo, muchas veces la medición de la eficiencia en los puertos no es la más adecuada, debido a que dentro del puerto se brindan diferentes servicios, siendo algunos regulados y otros no, y en su mayoría los estudios de eficiencia no aclaran cual es la actividad que se analiza.

Las medidas de productividad y eficiencia aplicadas en el Perú respecto a los puertos, están enfocadas principalmente desde un punto de vista “ingenieril”, mediante la elaboración de indicadores parciales de productividad e indicadores físicos, los cuales a pesar de sus limitaciones, se aplican en decisiones gerenciales o de política sectorial y/o regulatoria, es por ello que los mayores aportes del presente trabajo son realizar una medición del desempeño de los puertos regionales del Perú, principalmente de la eficiencia técnica del servicio de prestación de infraestructura portuaria de uso público que se encuentra en las regiones del Perú en el periodo 2002 – 2009, con la finalidad de conocer la situación en la que se encuentran los puertos regionales en nuestro país y en función a ello poder tomar decisiones de política sobre los menos eficientes replicando lo realizado en los más eficientes y proponiéndose nuevas alternativas. Así como la medición del cambio en la Productividad Total de los Factores (PTF) en el periodo 2002 – 2009 y en función a ello, poder explicar las causas de dicha variación. Finalmente, determinar si la ubicación del puerto, el tipo de administración y/o el tamaño de los mismos son variables que explican diferencias de eficiencia y si los

indicadores físicos como tiempo de rotación y tasa de ocupación son variables determinantes de la eficiencia.

Un resultado de mucha utilidad al que se espera llegar con la presente investigación es la obtención de un mejor indicador técnico del grado de eficiencia relativa, para saber que puertos deben concesionarse o qué medidas deben tomarse para que mejoren su desempeño, puesto que los indicadores parciales que actualmente se suelen emplear muchas veces se contradicen.

La presente investigación se estructura en once secciones. En la primera sección se explica el contexto en el cual la investigación es enmarcada y la problemática del sector, seguidamente se presentan los objetivos que persigue la investigación. En la tercera sección se realiza una descripción del sector correspondiente a las actividades, características y servicios portuarios, para luego en la cuarta y quinta sección describir brevemente las características de cada puerto de atraque directo del Perú, como son el Terminal portuario de Paita, Salaverry, Chimbote, Callao, San Martín, Ilo y Matarani y de los puertos de Chile. Posteriormente, la investigación presenta el Marco Teórico, las hipótesis planteadas y el Marco Metodológico en la sexta, séptima y octava sección respectivamente. Para luego pasar a corroborar las hipótesis planteadas mediante la novena, décima y décimo primera sección. Finalmente en la décima segunda sección se muestran las conclusiones y recomendaciones que se derivan de la presente investigación.

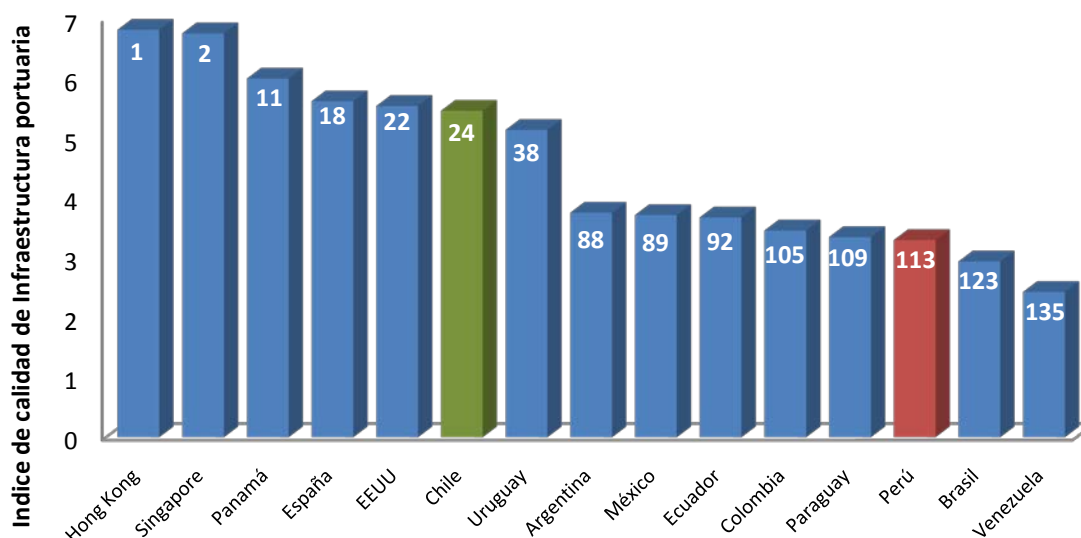
I. Problema de Investigación y Justificación

En los últimos años el Perú ha mostrado un crecimiento económico sostenido. La tasa de crecimiento, promedio anual, del PBI entre el 2002 y el 2009 fue de 6.3% y según las proyecciones del World Economic Outlook-WEO, el Perú continuará siendo uno de los países con mejores condiciones económicas para atraer inversión privada y seguirá liderando el crecimiento económico de América Latina por lo menos hasta 2015. En ese contexto, el desarrollar mayor infraestructura en servicios públicos básicos, como agua y saneamiento, telefonía, energía y transportes, resulta de vital importancia para incrementar la competitividad del país. En particular, el realizar una mayor inversión en infraestructura de transporte como carreteras, vías férreas, puertos y aeropuertos permitirá obtener un sistema de transporte intermodal mucho más eficiente, permitiendo de esta manera reducir la brecha de infraestructura y los excesivos costos logísticos con los que actualmente se cuenta.

Con respecto al nivel de competitividad con el que cuenta el Perú, según el Índice de Competitividad Global, nuestro país ha mejorado, pasando de la ubicación 83 a la 73 de 139 países del 2008 al 2010. Asimismo con respecto al índice de calidad global de la infraestructura los informes de competitividad global del World Economic Forum muestran al Perú un avance, pasando de la ubicación 113 a la 92 y específicamente con respecto a la calidad de la infraestructura portuaria se observa una mejora de 14 posiciones pasando del puesto 127 al 113 de 139 países. Sin embargo, si bien por un lado hemos tenido cierta mejora en el índice de competitividad, en el índice de calidad de infraestructura global y de infraestructura portuaria, aún nos encontramos por debajo del promedio regional y en comparación con las demás tipos de infraestructura de transportes con las que el Perú cuenta, como carreteras, vías férreas y aeropuertos, la infraestructura portuaria se encuentra peor ubicada en dicho ranking². Por otro lado, países de Sudamérica como Paraguay, Colombia, Ecuador, Argentina, Uruguay y Chile se encuentran mejor ubicados, siendo este último el que se encuentra en una mejor posición (puesto 24) en el ranking de calidad de infraestructura portuaria. El Gráfico N° 1 muestra en detalle el ranking de calidad de infraestructura portuaria.

² La ubicación que el Perú ocupa respecto al ranking de calidad de carreteras, vías férreas y aeropuertos según el Global Competitiveness Report 2010-2011 es el puesto 92, 91 y 78 respectivamente.

Gráfico N° 1 Ranking de Calidad de Infraestructura Portuaria



Fuente: Global Competitiveness Report 2010-2011
Elaboración: Propia

En lo que respecta al sector portuario, éste ha sufrido grandes cambios en las últimas décadas. Los avances tecnológicos experimentados por la industria marítima han permitido reducir los fletes y han supuesto significativas ganancias de productividad en el transporte marítimo, que los operadores no desean perder al llegar al puerto. Asimismo, los procesos de globalización y liberalización de las economías han revitalizado el comercio internacional de los países³, han ocasionado que éstos realicen significativas inversiones en infraestructura de transporte que les permita ser más competitivos a nivel internacional.

En este marco, la función de los puertos como lugares de intercambio modal adquiere gran relevancia, siendo indispensable un funcionamiento eficiente de los mismos para garantizar que la cadena de transporte actúe correctamente de forma integrada. Los procesos de cambio mencionados han incentivado el interés por mejorar la eficiencia portuaria, reducir el costo de manipulación de las mercancías e integrar los servicios con otros componentes de la cadena global de transporte.

³ En el caso del Perú esto se evidencia en Los Tratados de libre Comercio firmados recientemente con Estados Unidos (2006), Canadá y Singapur (2008), China (2009), EFTA (2010) y la Unión Europea (2010), además de los que están en negociación como los de Tailandia, Corea y Japón.

Una de las preocupaciones de los reguladores de la infraestructura portuaria es lograr que ésta funcione de manera eficiente y que parte de esas eficiencias se trasladen a los consumidores mediante menores tarifas. Fruto de este interés, surge una amplia literatura que analiza la eficiencia de este sector. Sin embargo, muchas veces la medición de la eficiencia en los puertos no es la más adecuada, debido a que dentro del puerto se brindan diferentes servicios, siendo algunos regulados y otros no, y en su mayoría los estudios de eficiencia no aclaran cuál es la actividad que se analiza. Por lo que, no es conveniente considerar la industria portuaria como un todo, al menos cuando se trata de estimar funciones de producción o costos, tal como menciona Gonzáles Serrano (2004).

En este sentido, el trabajo que se presenta es claro al determinar que el ámbito de la investigación es la prestación de servicios de provisión de infraestructura de uso público por parte de Estado Peruano o alguna empresa privada. Por lo que no se están considerando otros servicios o actividades, marítimo o portuarios⁴ que también se desarrollan en los puertos y que, en muchos casos, utilizan dicha infraestructura.

Sin embargo, pese a que el estudio se centrará en ciertas actividades portuarias, la diversidad se mantiene. Por un lado, estamos frente a una actividad multiproducto, pudiendo diferenciar los elementos de carga en carga fraccionada, carga contenedorizada, granel líquido, granel sólido y carga rodante, teniendo cada uno de ellos un tratamiento especial y específico dentro del puerto. Por ello, nos es conveniente definir el producto portuario en sus múltiples dimensiones.

Cabe señalar, que los puertos de uso público en el Perú se encuentran bajo la administración de la Empresa Nacional de Puertos (ENAPU), con excepción del Puerto de Matarani, concesionado en mayo de 1999 al consorcio TISUR S.A., el Nuevo Terminal de Contenedores (NTC) en el Terminal Portuario del Callao – Zona Sur, concesionado en julio del 2006 al consorcio D.P. World Callao S.A., y el Puerto de Paita concesionado en octubre del 2009 a Terminales Portuarios Euroandinos (TPE).

Las medidas de productividad y eficiencia aplicadas en el Perú respecto a los puertos, están enfocadas principalmente desde un punto de vista “ingenieril”, mediante la elaboración de indicadores parciales de productividad, los cuales a pesar de sus limitaciones, se aplican en decisiones gerenciales o de política sectorial y/o regulatoria. Sólo en el caso del Puerto de Matarani, para los ajustes tarifarios, se calcula la Productividad Total de los Factores (PTF), siendo la metodología empleada la de Números Índices.

⁴ Entre las que se puede mencionar al practicaje, remolcaje, etc.

Es por ello que los mayores aportes del presente trabajo son realizar una medición del desempeño de los puertos regionales del Perú, principalmente de la eficiencia técnica del servicio de prestación de infraestructura portuaria de uso público que se encuentra en las regiones del Perú en el periodo 2002 – 2009, con la finalidad de conocer la situación en la que se encuentran los puertos regionales en nuestro país y en función a ello poder tomar decisiones de política sobre los menos eficientes replicando lo realizado en los más eficientes y proponiéndose nuevas alternativas. Así como la medición del cambio en la Productividad Total de los Factores (PTF) en el periodo 2002 – 2009 y en función a ello, poder explicar las causas de dicha variación. Finalmente, determinar si la ubicación del puerto, el tipo de administración y/o el tamaño de los mismos son variables que explican diferencias de eficiencia y si los indicadores físicos como tiempo de rotación y tasa de ocupación son variables determinantes de la eficiencia.

Un resultado de mucha utilidad al que se espera llegar con esta investigación es la obtención de un mejor indicador técnico del grado de eficiencia relativa, para saber que puertos deben concesionarse o qué medidas deben tomarse para que mejoren en su desempeño, ya que los indicadores parciales que actualmente se emplean muchas veces suelen contradecirse.

Esta investigación está enmarcada en un contexto de post crisis financiera internacional, que también afectó al Perú, a pesar de las buenas cifras macroeconómicas vistas en los últimos años y por lo cual el gobierno tiene en cartera continuar con el proceso de concesiones, y en específico para el sector portuario. Tales como la concesión de los puertos fluviales de Iquitos, Yurimaguas y Pucallpa, los dos primeros ubicados en Loreto, y el último en Ucayali. Asimismo, la incursión de participación privada en el mejoramiento del Muelle Norte en busca de convertir al puerto del Callao en el Hub de la Costa Oeste del pacífico.

II. Objetivos

2.1. Objetivo Principal

- Elaborar un ranking de eficiencia y medir el cambio en la productividad total de los factores de los puertos regionales de atraque directo del Perú para el periodo 2002-2009 e identificar las principales variables determinantes de los niveles de eficiencia obtenidos.

2.2. Objetivos Específicos

- Medir la eficiencia técnica de los puertos regionales del Perú y de los principales puertos de Chile, así como la evolución de los mismos.
- Determinar el cambio en la Productividad Total de los Factores durante el periodo 2002-2009 de los puertos peruanos y de los principales puertos chilenos. Así como la descomposición en cambio en eficiencia técnica, eficiencia de escala y cambio tecnológico.
- Conocer las principales variables de entorno que determinan el nivel de eficiencia técnica.

III. Actividades, Características y Servicios Portuarios

3.1 Definición de Puerto

Definimos a un puerto como el lugar donde se produce el intercambio modal entre el transporte marítimo y el terrestre y viceversa. De la definición brindada se debe resaltar el carácter intermodal de los puertos y en función a ello su importancia para el comercio intra y entre países.

Una segunda característica es que en los puertos se prestan múltiples servicios, los cuales conforman una cadena logística, “los puertos son sistemas multidimensionales, los cuales para funcionar adecuadamente deben estar integrados en una cadena logística integral” Trujillo y Nombela (1999).

3.2 Importancia de los puertos

La principal razón de la relevancia de los puertos en un país se debe a que a través de ellos pasa la mayor parte del comercio nacional e internacional, “El 90% de las mercancías intercambiadas en el comercio mundial utilizan el transporte marítimo, actividad que no podría funcionar sin las instalaciones portuarias (...)” González, Tovar y Trujillo (2006).

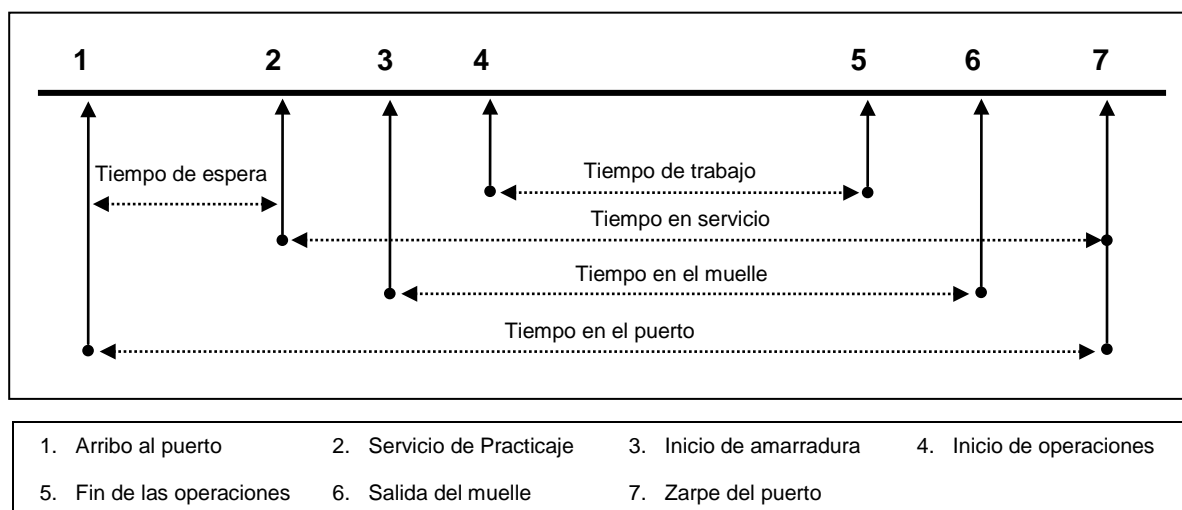
Los puertos representan prácticamente el único medio de transporte para largas distancias, ya que cualquier alternativa como el transporte aéreo o el terrestre, representan costos mayores. Solamente puede pensarse en el transporte aéreo como una alternativa cuando las mercancías tienen un elevado valor, mientras que en el caso del transporte terrestre, estamos hablando habitualmente de un medio de transporte complementario y sustituto en pocos casos.

Por lo tanto, los puertos son piezas claves en la competitividad de un país, ya que ante puertos ineficientes, los costos de las exportaciones e importaciones se encarecerían, lo que tendría un impacto en el crecimiento económico, de ese modo “ningún país puede pensar en su progreso económico sin el desarrollo de una infraestructura de transporte eficiente” Deshmukh (2003).

Al momento de elegir un puerto u otro, los empresarios no se interesan solo en el costo de un servicio, o en el costo total de todos los servicios, sino que además de ello se interesan en el tiempo que pueden demorar los buques y cargas sin ser atendidos en cada uno de los servicios que conforman la cadena logística portuaria. A la sumatoria total de estos costos explícitos e implícitos por el tiempo de espera se les llama costos generalizados.

El gráfico de tiempos de la nave que se presenta a continuación nos ilustra sobre cuáles son las actividades que debe realizar un buque al arribar a un puerto, desde el tiempo de espera antes de ser atracado y amarrado, hasta el momento de zarpar a otro destino.

Gráfico Nº 2: Tiempos de la Nave



Fuente: Basado en Octavio Doerr y Ricardo J. Sánchez (2006).

Elaboración: Propia

Según Trujillo y Nombela (1999), “los puertos modernos han dejado en general de tener una situación de monopolio para el transporte de mercancías a sus regiones de influencia o *hinterlands*, ya que el desarrollo de cadenas integradas de transporte ha reducido el tamaño de estas zonas de influencia, hasta el punto que puede ser preferible para el propietario de una carga utilizar un puerto lejano frente a otro más cercano”. Sin embargo, en el caso de los países de Latinoamérica y en especial el Perú, la mayor parte de los puertos regionales presentan un alto grado de cautividad de su demanda, salvo el puerto del Callao y el puerto de Matarani para ciertos tipos de carga. En ese sentido, el estudio de la productividad y eficiencia de los puertos regionales del Perú adquiere gran importancia en un contexto de globalización y firmas de tratados internacionales.

Finalmente, se debe mencionar que tradicionalmente muchos países y sus gobiernos han definido a los puertos como estratégicos, por lo que presentaban una gran participación estatal, la cual muchas veces no generaba los resultados esperados, “las experiencias internacionales han puesto de manifiesto que la participación privada en estos dos ámbitos (operación de servicios y construcción de infraestructuras) ha mejorado sensiblemente la eficiencia de numerosos puertos” Trujillo y Nombela (1999). Sin embargo aún no existe un consenso sobre si la gestión pública o privada sea una variable influyente en la eficiencia de los puertos.

3.3 Características económicas de los puertos

Dentro de las características a resaltar tenemos que los servicios portuarios presentan una demanda derivada; la demanda por los servicios portuarios no es un fin en sí misma, sino que es demandada como producto de la demanda de productos exportados, importados y/o trasladados a diferentes zonas dentro del territorio nacional. “Los puertos se han desarrollado en respuesta a la demanda económica de su zona de influencia o hinterland”. González, Tovar y Trujillo (2006).

Se debe tener en cuenta que los puertos son unidades multiproducto, y brindan una diversidad de servicios, realizándose distintas actividades, como servicios a la nave, a sus cargas y a los pasajeros. Por lo tanto, se afirma que un puerto es una unidad multiproducto o multiservicio.

En estas instalaciones se presenta la posibilidad de introducir competencia, ya que dentro de los servicios que se brindan en un puerto, muchos de ellos presentan economías de escala que se agotan rápidamente.

La infraestructura portuaria implica grandes inversiones en activos fijos, es por ello que es común que el espacio disponible sea muy reducido; debido a los elevados costos de la infraestructura. Esto podría actuar como una barrera a la entrada ya que muchos de estos activos son muy específicos, llegando a considerarse costos hundidos.

Un puerto no puede ampliarse de manera continua, sino que debe ampliarse a través de saltos discretos y por lo tanto, tener periodos donde se cuenta con mayor capacidad a la necesaria y periodos donde ésta es escasa debido a la indivisibilidad de activos fijos.

Otra característica es que en la industria portuaria se pueden desarrollar importantes economías de escala, como producto de la inversión en activos específicos y costosos. “De Neufville y Tsunokawa (1981), tras analizar la productividad de cinco puertos de contenedores en EE.UU. (1970-1978), afirman que la productividad de los puertos aumenta con el tamaño y que existen significativas economías de escala (...)”, Gonzales y Trujillo (2005).

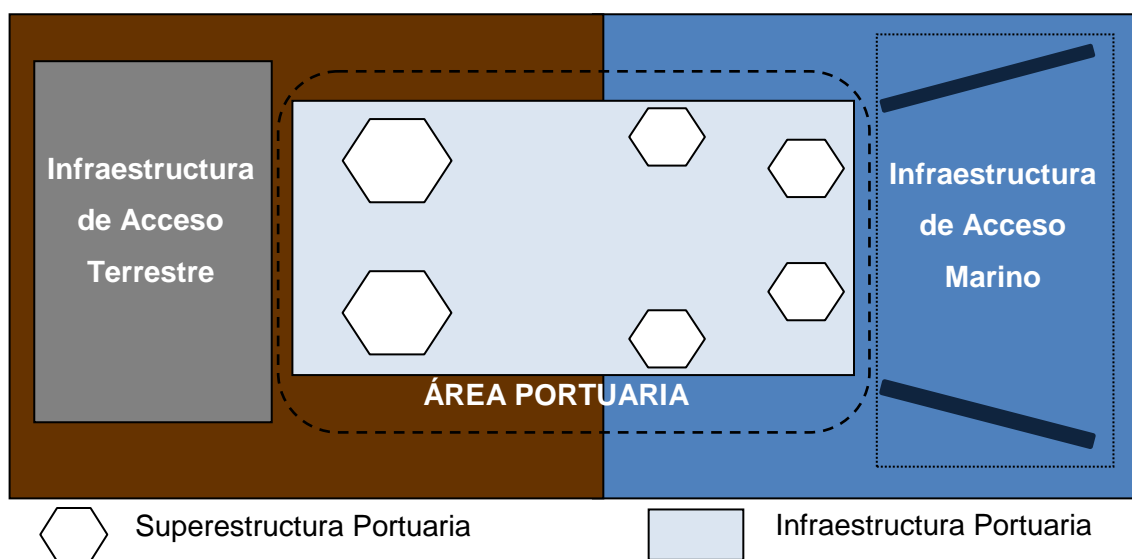
Se dice además que en los puertos existen economías de ámbito, debido a que es menos costoso brindar dos o más servicios en conjunto en un puerto que brindarlos por separado en puertos especializados, por lo menos hasta cierto grado. Esto es producto de la utilización de un factor común, como por ejemplo el muelle. Así tenemos que para un cierto tamaño de demanda, puede ser más rentable brindar en un mismo terminal, tanto servicios a buques de contenedores como a buques con carga no contenedorizada.

Finalmente se debe mencionar que algunas instalaciones portuarias tales como los faros, canales de acceso, entre otros, presentan características de bienes públicos; sin embargo, el puerto en su conjunto no posee la característica de bien público.

3.4 Descripción del Área Portuaria

El área portuaria engloba tanto a la infraestructura como a la superestructura y se encuentra delimitada por la infraestructura de acceso marítimo y la infraestructura de acceso terrestre. La infraestructura portuaria está compuesta por los muelles, diques, dársenas, áreas de almacenamiento, etc. Mientras que la superestructura portuaria comprende a las grúas, tuberías, almacenes, etc. La infraestructura de acceso marítimo está compuesta por los canales, rompeolas, esclusas, boyas, faros, etc. Mientras que la infraestructura de acceso terrestre está compuesta por carreteras, rieles para ferrocarriles, etc.

Gráfico N° 3: El Área Portuaria



Fuente: Adaptado de Trujillo y Nombela (1999)
Elaboración: Propia

3.5 Tipos de carga

Es muy común en la industria portuaria hablar de cinco tipos de carga, los graneles sólidos, graneles líquidos, carga contenedorizada, carga fraccionada y carga rodante. Sin embargo, estos se pueden clasificar de modo más general como carga a granel y carga general.

La carga general puede encontrarse embalada o no, sin embargo la característica central es que puede tratarse como una unidad. En primer lugar, tenemos la carga fraccionada, dentro de

la cual se puede mencionar a los paquetes, sacos, cajas, etc. En segundo lugar, tenemos a la carga general unificada, dentro de la que tenemos dos sub clasificaciones, la carga contenedorizada⁵ y la carga rodante⁶.

En cuanto a la carga a granel tenemos al granel sólido, donde se pueden mencionar productos como el trigo, los minerales, el carbón, entre otros; y el granel líquido, donde se puede mencionar por ejemplo al petróleo y sus derivados.

3.6 Servicios Portuarios

Como ya se había mencionado, un puerto implica múltiples servicios, desde que un buque se aproxima al puerto hasta que lo abandona recibe distintos servicios, los cuales se dividen en servicios a la nave y servicios a la carga.

i. Servicios a la Nave:

Estos servicios se brindan para ayudar al buque desde que se aproxima a las inmediaciones del puerto hasta que atracar en él y viceversa.

- a) **Practicaje;** consiste en guiar el buque desde la entrada del puerto hasta un amarradero o fondeadero, o la operación inversa cuando la nave se retira del puerto. Esta labor la realiza un Práctico, el cual es una persona que posee amplios conocimientos de la zona (mareas, área, reglamentaciones náuticas, etc.), en base a dicho conocimiento asesora al capitán del buque en las operaciones de atraque, desatraque, movimiento de lugares, etc.
- b) **Remolcaje;** consiste en la ayuda náutica al movimiento del buque cuando éste se encuentra próximo al puerto, esto se traduce en halar, empujar o apoyar al buque con una pequeña embarcación, la cual posee una gran potencia. Esto facilita el movimiento del buque dentro de las inmediaciones del puerto, de otra manera el buque podría tener movimientos bruscos y con ello correr un mayor peligro de accidentes o choques con otras naves que se encuentran en las inmediaciones del puerto.
- c) **Amarre y Desamarre;** el servicio de amarre consiste en la operación de colocar las amarras de la nave en los amarraderos (postes o cornamusas) para asegurar la nave, el servicio de desamarre consiste en la actividad inversa al servicio de amarre. También se tiene la posibilidad de mover de lugar las amarras.

⁵ Cuando los productos como por ejemplo ropa, espárragos, etc. Se agrupan dentro de contenedores.

⁶ Este tipo de carga puede movilizarse por propios medios, es el caso de vehículos tales como automóviles, tractores, etc.

- d) **Agenciamiento Marítimo**; consiste en la coordinación de las operaciones portuarias del buque desde su llegada a las inmediaciones del puerto hasta que se retira del mismo.
- e) **Uso del amarradero**; mientras que el buque permanece atracado en el muelle, utiliza amarraderos.

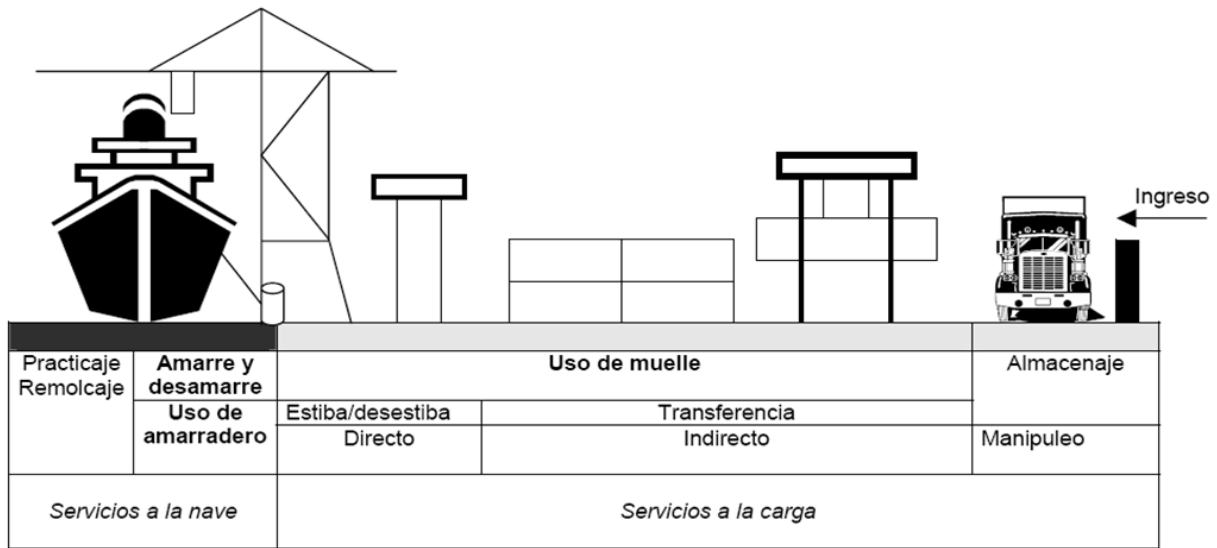
ii. **Servicios a la Carga o de Manipulación de Mercancías**

Estos servicios se brindan para el desembarque de la carga y su almacenamiento y/o traslado.

- a) **Uso de Muelle**; consiste en la utilización de la infraestructura del puerto por la carga.
- b) **Estiba y Desestiba**; la estiba consiste en el movimiento de la carga desde el lado del buque (en el muelle) hasta el interior del mismo, mientras que la desestiba es la acción inversa.
- c) **Carga, tracción o transferencia**; consiste en el movimiento de la carga desde el muelle hasta el costado de la nave o viceversa.
- d) **Manipuleo**; consiste en la operación de apilamiento y/o arrumaje de la carga.
- e) **Almacenamiento o depósito**; consiste en el servicio de almacenamiento temporal dentro del área portuaria, con el objetivo de hacer el intercambio intermodal (es decir, entre modos de transporte), inspección o de transbordo.
- f) **Transporte horizontal**; consiste en el traslado de la carga desde su almacenamiento o depósito dentro de las instalaciones del puerto hacia fuera del mismo, ya sea a un almacén externo (extraportuario) o hacia el mercado.

Dentro de los servicios mencionados el más importante es el de la manipulación de la carga, ya que constituye en promedio un 80% de los costos totales de transportar la carga a través de un puerto, “los costes de manipulación de la carga son los que constituyen un mayor porcentaje dentro del total de costes que debe soportar una mercancía que atraviesa por un puerto (aproximadamente entre un 70% y un 90%, dependiendo del tipo de bienes)” Trujillo y Nombela (1999).

Gráfico N° 4: Principales Servicios Portuarios



Fuente: Gerencia de Regulación – OSITRAN (2009)

Además de los servicios a la nave y a la carga los buques necesitan otros servicios, los cuales se pueden agrupar en servicios auxiliares, servicios a la tripulación y servicios generales.

Dentro de los servicios auxiliares tenemos al avituallamiento a las naves, reparaciones, pertrecho, aprovisionamiento, este servicio incluye la provisión de combustible, la provisión de agua, de alimentos, etc., entre otros servicios auxiliares diversos. Dentro de los servicios a la tripulación del buque tenemos por ejemplo los de atención médica. Finalmente, dentro de los servicios generales tenemos los servicios de limpieza, recojo de basura, etc.

3.7 Organización de las Actividades del Puerto: La Autoridad Portuaria

Entre los principales modelos de organización portuaria, dependiendo de la intervención de la autoridad portuaria⁷ en la provisión de servicios, tenemos:

- Landlord Port;** bajo este modelo de organización, la autoridad portuaria es la propietaria de la infraestructura, mientras que la superestructura es de propiedad de terceros, normalmente privados, que son los que brindan los servicios.
- Services Port;** bajo este modelo de organización, es la autoridad portuaria la propietaria de la infraestructura, superestructura y equipamiento, siendo la responsable de todas las actividades o servicios en el puerto.

⁷ La autoridad portuaria es la encargada de la coordinación de las actividades realizadas dentro de un puerto.

- c) **Tool Port**; este es un punto intermedio entre los dos modelos de organización descritos, según el cual la autoridad portuaria es la propietaria de la infraestructura, mientras que gestiona la superestructura y equipamiento. Sin embargo, son terceros mediante contratos de concesión o licencias los que brindan los servicios portuarios.

Estos dos últimos modelos son llamados *Comprehensive Ports*, en los cuales la autoridad portuaria posee todos los activos. Las formas de organización portuaria más comunes en el mundo son las que pertenecen a este grupo, tendencia a la cual el Perú no es ajeno. “(...) Existe una tendencia a nivel mundial en los puertos hacia el modelo de participación mixta entre el capital público y privado, generalmente para los puertos de gran tamaño”, Trujillo y Nombela (1999).

3.8 Niveles de desarrollo de los Puertos

Siguiendo a Stopford (1997), podemos clasificar a los puertos según su nivel de desarrollo en:

- a) **Pequeño Puerto Local**, son puertos muy poco especializados, es decir que a través de ellos pasa todo tipo de carga por medio de pequeños barcos, ya que abastecen a un número de localidades reducido.
- b) **Gran Puerto Local**, en este tipo de puertos se sirve a un mayor tráfico de buques, por lo que se debe contar con la capacidad de atender a buques de mayor tamaño, contándose con una mejor infraestructura (accesos terrestres, mayor calado, etc.), además de mejores equipos (grúas, entre otros).
- c) **Gran Puerto Regional**, debido al mayor tráfico atendido, este tipo de puertos cuenta con terminales especializados (terminales de contenedores, graneles líquidos, etc.).
- d) **Centros Regionales de Distribución**, este tipo de puertos son aún más especializados y atienden a un tráfico todavía mayor, y poseen infraestructura para el cambio intermodal. Son los llamados Puertos *Hub*, los cuales se definen como nodos principales de conexión para las rutas interoceánicas.

En el caso de los dos primeros niveles de desarrollo descritos, el pequeño tamaño de su mercado probablemente sea suficiente solo para introducir competencia intraterminal y/o regulación en algunos servicios. En el caso de los dos últimos niveles de desarrollo, la competencia intraterminal, interterminal, interportuaria y la regulación en algunos servicios son una posibilidad, aunque eso dependerá de múltiples factores, entre ellos el área de influencia de dichos puertos, factores políticos, entre otros.

Kent y Hochstein (1998) proponen umbrales para la posible introducción de competencia en los puertos:

Cuadro N° 1: Umbrales para la determinación del tipo de competencia en TEU's

Tipo de Competencia	Volumen
Regulación	0 – 30,000
Intraterminal	30,000 – 100,000
Interterminal	100,000 – 300,000
Interpuertos	300,000 a más

Nota: Twenty-foot Equivalent Unit (TEU) es la unidad de medida que homogeniza los conenedores de 20 y 40 pies. Un contenedor de 20 pies equivale a 1 TEU y uno de 40 pies a 2 TEU's

Fuente: Basado en Kent y Hochstein (1998)

Elaboración: Propia

Los autores afirman que en puertos que atienden un tráfico menor a 30,000 TEU's no es necesario tener más de un terminal, por lo que no existiría otra alternativa más que la regulación de precios, ya que sería óptima la presencia de un solo operador. En el caso que el puerto atienda un tráfico entre los 30,000 y 100,000 TEU's se podría introducir competencia dentro del terminal (intraterminal), a través de distintas empresas que brinden servicios. En el caso que el puerto atienda un tráfico entre los 100,000 y 300,000 TEU's, además de la competencia intraterminal se tiene la alternativa de la competencia interterminal, donde distintos terminales dentro del mismo puerto compiten por atraer el mayor tráfico posible. Finalmente, en el caso de los puertos con un tráfico mayor a los 100,000 TEU's se podría además de los dos tipos de competencia anteriores, introducir la competencia interportuaria, donde se compite por el tráfico con otros puertos dentro de la zona de influencia.

3.9 Cambios en la industria de transporte en las últimas décadas

La industria de transporte marítimo ha tenido importantes cambios en los últimos años, “Estos cambios son básicamente de tipo tecnológico, y destacan dos de ellos: el proceso de contenedorización de la carga y el desarrollo de buques altamente especializados” Trujillo y Nombela (1999, pp. 125).






El proceso de contenedorización tiene el objetivo de incrementar las economías de escala en el almacenamiento, transporte y movimientos de la carga. La tendencia mundial es a la mayor utilización de contenedores, los cuales son cajas de metal de 20 ó 40 pies de largo. Se suele usar como unidad de medida al TEU – Twenty-foot Equivalent Unit. “(...) el transporte de carga en contenedores ha venido desempeñando un papel cada vez más dominante en el transporte global, lo que según Wang, Song and Cullinane (2002) se ha debido a las numerosas ventajas

técnicas y económicas que posee frente a otros métodos tradicionales y más costosos de transporte.” Doerr y Sánchez (2006).

Con el proceso de contenedorización y la búsqueda de menores costos unitarios por carga, los buques han tendido cada vez más al gigantismo y a la especialización en un tipo específico de carga, lo que genera la obtención de mayores economías a escala en el transporte, ya que el volumen transportado aumenta más que proporcionalmente con respecto a los incrementos del tamaño de los buques. El sistemático incremento del tamaño de los buques exige mayores inversiones en infraestructura en los puertos.

El gráfico a continuación nos muestra una evolución del tamaño de los buques en el tiempo.

Gráfico Nº 5: Evolución del tamaño de los buques en el Tiempo

Primera Generación (1956-1970)		Tamaño	Calado	TEUs
	Converted Cargo Vessel	135 m	< 9 m	500
	Converted Tanker	200 m		800
Segunda Generación (1970-1980)		Tamaño	Calado	TEUs
	Cellular Containership	215 m	10 m	1000 2500
Tercera Generación (1980-1988)		Tamaño	Calado	TEUs
	Panamax	250 m	11 m	3000
			12 m	4000
Cuarta Generación (1988-2000)		Tamaño	Calado	TEUs
	Post-Panamax	275 m	11 m	4000
		305 m	13 m	5000
Quinta Generación (2000 – ?)		Tamaño	Calado	TEUs
	Post-Panamax	335 m	13 m	5000
			14 m	8000

Fuente: Gerencia de Regulación - OSITRAN (2009)

Elaboración: Propia

Los cambios en la industria marítima, traen importantes consecuencias en la industria portuaria, así tenemos que el proceso de contenedorización tiene como consecuencia inmediata la necesidad de contar con mayor equipo, en específico con grúas, cuyo tamaño y costo dependerá del tamaño de los buques que se atiendan. La segunda consecuencia del proceso de contenedorización, la cual está ligada fuertemente a la primera, es la reducción de personal,

ya que por ejemplo, la tarea que antes la hacían los estibadores cargando paquetes, ahora se hace a través de maquinarias.

IV. Puertos Públicos de Atraque Directo en el Perú

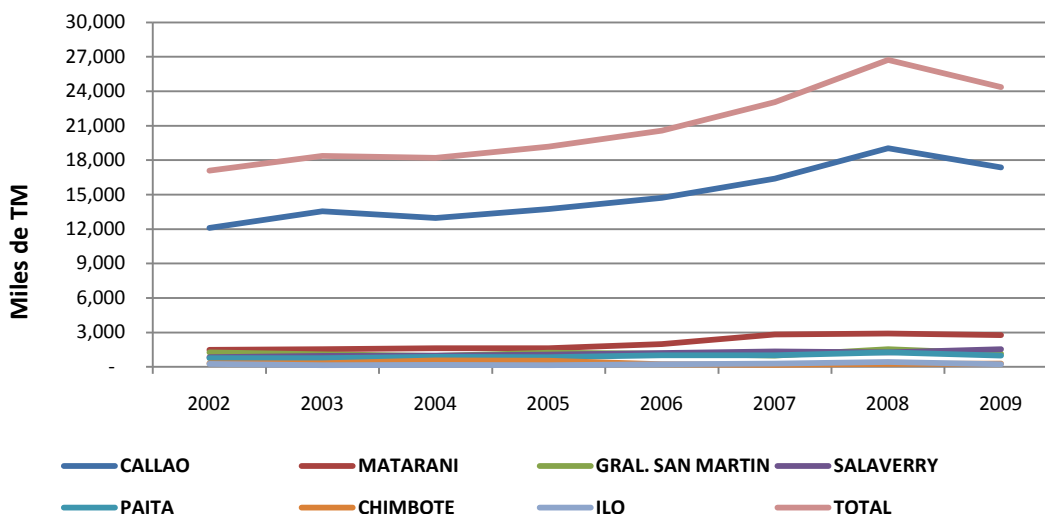
Los Puertos públicos de atraque directo en el Perú (puertos regionales), en los últimos años, han sufrido incrementos significativos del volumen de carga movilizada, influenciado principalmente por el crecimiento de la actividad económica que el Perú ha experimentado.

El Gráfico N° 6 muestra el tráfico de carga movilizado por los puertos regionales del Perú durante el periodo 2002 – 2009. En él podemos observar que anualmente se han movilizado, en todos los puertos regionales, un promedio de 21 millones de TM, registrándose la mayor actividad en el puerto del Callao, el cual reportó movilizaciones de carga de 15 millones anuales. Seguidamente, el segundo puerto en importancia, en cuanto a movilización de carga se refiere, es el puerto de Matarani, que durante el periodo 2002-2009 movilizó en promedio 2 millones de toneladas. Con respecto al puerto del Callao, éste ha incrementado su volumen de carga movilizada en 44.51%, pasando de 12.11 millones de toneladas en el año 2002 a 17.38 millones de toneladas en el 2009. Mientras que, el puerto de Matarani ha tenido un crecimiento del total de carga movilizada de 85.38%, pasando de 1.49 millones de toneladas en el 2002 a 2.76 millones de toneladas en el 2009.

Por otro lado, con respecto a los demás puertos como Gral. San Martín, Salaverry, Paita, Chimbote e Ilo, si bien han incrementado su tráfico de carga promedio durante periodo 2002-2009, dicho incremento no ha sido significativo.

Asimismo, cabe señalar, que el total de carga movilizada por los puertos regionales, está determinado principalmente por el tráfico de carga que el puerto del Callao registre, tal como se puede visualizar en el Gráfico N° 6 en donde ambas series presentan el mismo comportamiento.

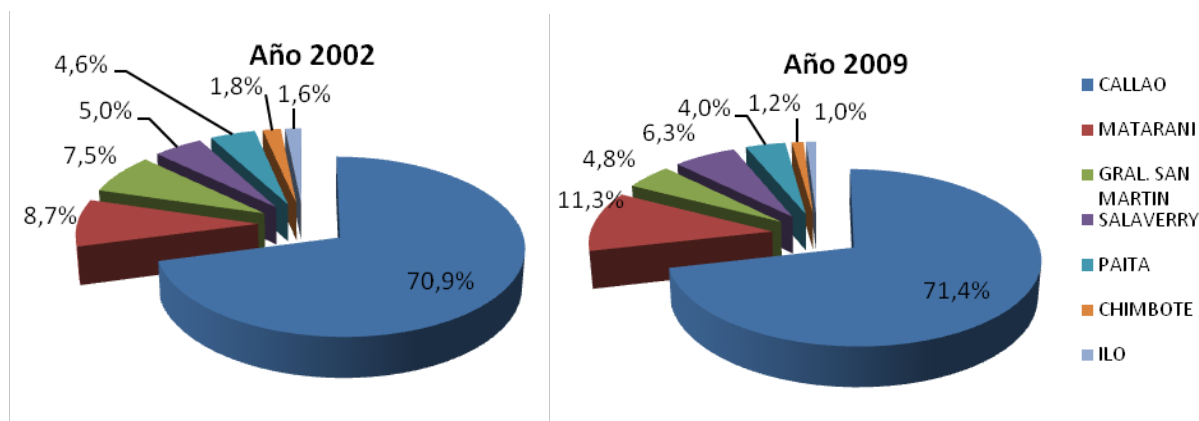
**Gráfico N° 6 Perú: Tráfico de carga movilizado en los puertos
(miles de TM)**



Fuente: ENAPU y OSITRAN.
Elaboración: Propia

En lo que respecta a la participación del tráfico de carga, en el Gráfico N° 6 se observa que el puerto del Callao ha incrementado ligeramente su participación pasando de un 70.85% en el 2002 a un 71.35% en el 2009. Asimismo el puerto de Matarani ha incrementado su participación en el tráfico de carga movilizada pasando de 8.71% en el 2002 a un 11.34 %. Por otro lado, el puerto de Gral. San Martín ha sufrido una reducción significativa, pasando de un 7.46% en el 2002 a un 4.79% en el 2009.

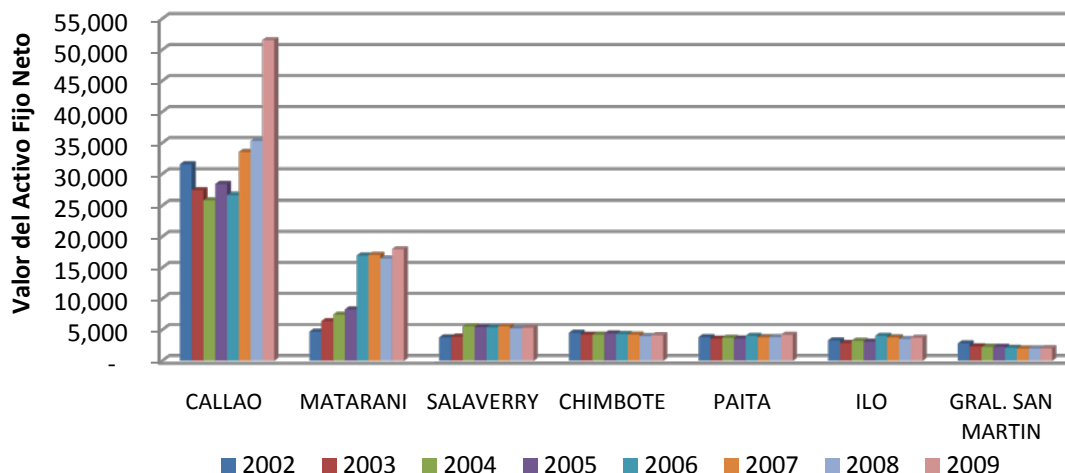
Gráfico N° 7 Perú: Participación del tráfico de carga por puerto: 2002-2009



Fuente: ENAPU y OSITRAN.
Elaboración: Propia

Finalmente, el Gráfico N° 8 muestra el valor del activo fijo neto por puertos. En él se observa que los únicos puertos que han experimentado crecimientos significativos de inversiones son el puerto del Callao y el puerto de Matarani, mientras que Salaverry, Chimbote, Paita, Ilo y Gral. San Martín no han sufrido un incremento significativo de su stock de activos fijos, e incluso en algunos años dichos puertos han experimentado pequeñas disminuciones.

Gráfico N° 8 Perú: Stock de activo Fijo Neto (Base 2000)



Fuente: Estados Financieros de las empresas, TISUR, ENAPU y OSITRAN.
Elaboración: Propia

Con respecto al puerto del Callao, la compra de dos grúas pórtico de muelle y dos grúas pórtico de patio adquiridas en el año 2009 para operar en el Muelle N° 5 incrementaron significativamente el stock de Activos fijos, mientras que en el caso del puerto de Matarani, el incremento en el año 2006, se debió a la inversión realizada para una nueva faja transportadora de minerales.

A continuación presentamos una breve descripción de las principales características de los principales puertos regionales de uso público del Perú: Paita, Salaverry, Chimbote, Callao, General San Martín, Matarani e Ilo.

4.1 Puerto de Paita

El Terminal Portuario de Paita (TPP) está ubicado en el Distrito Paita, Provincia de Paita, Región Piura, al Norte del Perú, entre las ciudades de Piura y Sullana. La distancia de dicho puerto hacia Lima por carretera es de 1,037 Kilómetros, mientras que la distancia por mar hacia el Terminal Portuario del Callao es de 510 Millas.

Hasta septiembre del año 2009 este puerto se encontraba bajo la administración de la Empresa Nacional de Puertos (ENAPU); sin embargo, a partir del cuarto trimestre de dicho año la administración de Terminal Portuario de Paita (TPP) pasó a ser privada, bajo el Consorcio Terminales Euroandinos (TPE), dicho consorcio se encuentra formado por Tertir Terminais Portugal S.A., Cosmos Agencia Marítima S.A.C. y Translei S.A. siendo la primera de capitales portugueses y mientras que las otras dos de capitales peruanos.

El Terminal Portuario de Paita (TPP) tiene como zona de influencia la zona norte del país, sobre las regiones de Tumbes, Piura, Lambayeque, Amazonas, La Libertad y Cajamarca, y sobre el sur de Ecuador.

Los principales productos que transitan por el Terminal Portuario de Paita (TPP) son:

- En la importación: los granos, fertilizantes y el aceite de soya.
- En la exportación: la harina y el aceite de pescado, la roca fosfórica, los productos agrícolas y los mariscos (contenedorizados principalmente).

El Terminal Portuario de Paita (TPP) presenta un muelle de atraque directo, el cual cuenta con cuatro amarraderos, como se muestra en el cuadro a continuación.

Cuadro Nº 2: Amarraderos del Terminal Portuario de Paita (TPP)

Amarraderos	Profundidad	Longitud	Capacidad DWT
Amaradero 1 - A	33 Pies	200 Metros	32,000 DWT
Amaradero 1 - B	33 Pies	200 Metros	32,000 DWT
Amaradero 1 - C	25 Pies	165 Metros	25,000 DWT
Amaradero 1 - D	27 Pies	165 Metros	25,000 DWT

Fuente: ENAPU

El Terminal Portuario de Paita (TPP) presenta solamente el Almacén Nº 5 con una capacidad de 359 TM, así también cuenta con dos zonas de almacenamiento al descubierto y dos patios de contenedores.

4.2 Puerto de Salaverry

El Terminal Portuario de Salaverry (TPS) está ubicado en el Distrito de Salaverry, Provincia de Trujillo, Región de La Libertad. La distancia de dicho puerto hacia Lima por carretera es de 548 Kilómetros y a la ciudad de Trujillo a 12 Kilómetros, mientras que la distancia por mar hacia Terminal Portuario del Callao es de 255 Millas.

Actualmente el Terminal Portuario de Salaverry (TPS) se encuentra bajo la administración de la Empresa Nacional de Puertos (ENAPU S.A.).

El Terminal Portuario de Salaverry (TPS) tiene como zona de influencia la zona norte medio del país, en específico sobre las Regiones de La Libertad, Lambayeque, Ancash, Cajamarca y Lima, con una mayor intensidad en las provincias de Trujillo y Chiclayo.

Los principales productos que transitan por el Terminal Portuario de Salaverry (TPS) son:

- En la importación: granos (azúcar, arroz, etc.), granel líquido (melaza y alcohol etílico), fertilizantes y carbón.
- En la exportación: concentrados de minerales, azúcar, rollos de papel, harina de pescado, mariscos (en contenedores).

El Terminal Portuario de Salaverry (TPS) cuenta con un rompeolas de 700 metros de largo, a pesar de ello a menudo se encuentra expuesto a marejadas. Además se cuenta con un calado oficial de 32' 00" (SW) por lo que las naves con un calado mayor pueden atracar solo cuando existe marea alta.

El Terminal Portuario de Salaverry (TPS) cuenta con dos muelles, el Muelle N° 1 se usa para el embarque de melaza, concentrados de mineral y minerales a granel. El Muelle N° 2 cuenta con una banda transportadora con 2 áreas móviles de carga para el azúcar a granel. Cada muelle cuenta con 2 amarraderos cuyas características se pueden observar en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 3: Amarraderos del Terminal Portuario de Salaverry (TPS)

Amarraderos	Profundidad	Longitud	Capacidad DWT
Amarradero 1 - A	32 Pies	225 Metros	25,000 DWT
Amarradero 1 – B	32 Pies	225 Metros	25,000 DWT
Amarradero 2 – A	32 Pies	230 Metros	25,000 DWT
Amarradero 2 - B	30 Pies	230 Metros	25,000 DWT

Fuente: ENAPU

El puerto de Salaverry cuenta con tres almacenes, además existen 6 zonas para el almacenamiento al descubierto destinadas a la carga en general.

4.3 Puerto de Chimbote

El Terminal Portuario de Chimbote (TPCh) está ubicado en el Distrito de Chimbote, Provincia de Santa, Departamento de Ancash, al norte de Perú. La distancia de dicho puerto hacia Lima

por carretera es de 431 Kilómetros, mientras que la distancia por mar hacia el Terminal Portuario del Callao es de 201 Millas.

Actualmente el Terminal Portuario de Chimbote (TPCh) se encuentra bajo la administración de la Empresa Nacional de Puertos (ENAPU S.A.).

El Terminal Portuario de Chimbote (TPCh) tiene como zona de influencia la zona del “norte chico”, en particular sobre el Departamento de Ancash, y en específico sobre los Distritos de Coishco, Samanco, Huarmey, Casma y Santa

El principal producto que transita por el Terminal Portuario de Chimbote (TPCh) es la Harina de Pescado; sin embargo, también presenta en menor proporción tránsito de minerales.

El Terminal Portuario de Chimbote (TPCh) cuenta con dos muelles de tipo espigón, de los cuales se tiene cuatro amarraderos tal y como se muestra en el cuadro a continuación.

Cuadro N° 4: Amarraderos del Terminal Portuario de Chimbote (TPCh)

Amarraderos	Profundidad	Longitud	Capacidad DWT
Amarradero 1 - A	30 Pies	185 Metros	20,000
Amarradero 1 - B	30 Pies	185 Metros	20,000
Amarradero 2 - A	18 Pies	54 Metros	1,000
Amarradero 2 - B	18 Pies	54 Metros	1,000

Fuente: ENAPU

El Terminal Portuario de Chimbote (TPCh) cuenta con un almacén con una capacidad de 1,844 TM, además de ello cuenta con una zona de almacenamiento al descubierto con un área de 14,728 m².

4.4 Puerto del Callao

El Terminal Portuario del Callao (TPC) es el principal puerto del Perú, está ubicado en el Distrito del Callao, Provincia Constitucional del Callao, Región Callao, al oeste de Lima. La distancia del Terminal Portuario del Callao (TPC) hacia Lima por carretera es de aproximadamente 15 Kilómetros.

El Terminal Portuario del Callao (TPC) se encuentra bajo la administración de la Empresa Nacional de Puertos (ENAPU); sin embargo, se ha concesionado el Muelle Sur al Consorcio DP World (Dubai Ports World) en el 2006⁸. Por otro lado, está por introducirse inversión privada en el Muelle Norte.

⁸ Sin embargo, para el periodo de análisis de esta investigación (2002 – 2009) dicha empresa no se encontraba en operación.

El Terminal Portuario del Callao (TPC) tiene una extensa zona de influencia, entre ellas podemos mencionar a los Departamentos de Lima, Cerro de Pasco, Huánuco, Ayacucho, Junín y Huancavelica.

Los principales productos que transitan por el Terminal Portuario del Callao (TPC) son:

- En la importación: principalmente granos, aceite de soja, roca fosfórica y fertilizantes.
- En la exportación: principalmente concentrados minerales, harina de pescado, cátodos de cobre, productos agrícolas (contenedorizados) y mariscos (contenedorizados).

El Terminal Portuario del Callao (TPC) posee diferentes muelles, en los cuales se tiene más de un amarradero. Los amarraderos del Muelle 5 del Terminal Portuario del Callao (TPC) se muestran en el cuadro a continuación.

Cuadro Nº 5: Amarraderos del Muelle 5 del Terminal Portuario del Callao (TPC)

Amarraderos	Profundidad	Longitud
Amarradero MN - A	36 Pies	178.00 Mts.
Amarradero MN - B	36 Pies	212.00 Mts.
Amarradero MN - C	34 Pies	182.80 Mts.
Amarradero MN - D	36 Pies	209.00 Mts.
Amarradero MN - E	36 Pies *	181.00 Mts.

Fuente:ENAPU

Los Muelles Nº 1, 2, 3, 4, 7 y 11, presentan los amarraderos que se muestran en el cuadro a continuación.

Cuadro Nº 6: Amarraderos del Muelle Nº 1, 2, 3, 4, 7 y 11 del Terminal Portuario del Callao (TPC)

Amarraderos	Profundidad	Longitud
Amarradero 1 - A	33 Pies	182.80 Mts.
Amarradero 1 - B	34 Pies	182.80 Mts.
Amarradero 2 - A	31 Pies*	182.80 Mts.
Amarradero 2 - B	32 Pies	182.80 Mts.
Amarradero 3 - A	33 Pies	182.80 Mts.
Amarradero 3 - B	33 Pies	182.80 Mts.
Amarradero 4 - A	34 Pies*	182.80 Mts.
Amarradero 4 - B	33 Pies*	182.80 Mts.
Amarradero 7 - A	34 Pies	262.80 Mts.
Amarradero 7 - B	34 Pies	262.80 Mts.
Amarradero 11 - A	31 Pies	192 Mts.
Amarradero 11 - B	32 Pies	192 Mts.

Fuente:ENAPU

El Terminal Portuario del Callao (TPC) presenta múltiples almacenes, así también cuenta con varias zonas de almacenamiento al descubierto, patios para contenedores, anexos y un silo para granos.

4.5 Puerto General San Martín

El Terminal Portuario General San Martín (TPGSM) está ubicado en el Distrito Paracas, Provincia de Pisco, Región Ica, al sur del Perú en Punta Pejerrey. La distancia de dicho puerto hacia Lima por carretera es de 280 Kilómetros, mientras que la distancia por mar hacia Terminal Portuario del Callao es de 142 Millas.

El Terminal Portuario General San Martín (TPGSM) tiene como zona de influencia la zona centro-sur del País, sobre las regiones de Ica, Ayacucho, Huancavelica, Cusco y Apurímac.

Actualmente el Terminal Portuario General San Martín (TPGSM) se encuentra bajo la administración de la Empresa Nacional de Puertos (ENAPU S.A.).

Los principales productos que transitan por el Terminal Portuario General San Martín (TPGSM) son:

- En la importación: granos, fertilizantes, tubos y tuberías, y productos de acero.
- En la exportación: sal, ácido sulfúrico, harina de pescado, y aceite de pescado

El Terminal Portuario General San Martín (TPGSM) cuenta con un único muelle de atraque directo. El muelle tiene cuatro puntos de amarre y las características de estos se muestran a continuación.

Cuadro N° 7: Amarraderos del Terminal Portuario General San Martín (TPGSM)

Amarraderos	Profundidad	Longitud	Capacidad DWT
Amarradero 1 - A	33 Pies	185 Metros	30,000
Amarradero 1 - B	33 Pies	175 Metros	30,000
Amarradero 1 - C	32 Pies	175 Metros	30,000
Amarradero 1 - D	30 Pies	165 Metros	30,000

Fuente: ENAPU

El Terminal Portuario General San Martín (TPGSM) posee tres almacenes usados para el almacenamiento de mercadería en general. Además de ello, cuenta con ocho zonas de almacenamiento, de las cuales cuatro se utilizan para el almacenaje de mercadería en general, una para sal a granel, una para el depósito de fajas transportadoras y dos para el almacenamiento de contenedores y mercadería general.

4.6 Puerto de Matarani

El Terminal Portuario de Matarani (TPM) está ubicado en la Provincia de Islay, Región Arequipa, al sur del Perú. La distancia de dicho puerto hacia Lima por carretera es de 1070 Kilómetros.

Hasta el año 1999 este puerto se encontraba bajo la administración de la Empresa Nacional de Puertos (ENAPU); sin embargo, en dicho año se entregó en concesión a Consorcio TISUR S.A. (Terminal Internacional del Sur S.A.), el cual está conformado por RANSA comercial S.A., Dionisio Romero Seminario, José Antonio Orrubia Romero.

El Terminal Portuario de Matarani (TPM) tiene como zona de influencia la zona sur del país, principalmente sobre las ciudades de Arequipa, Puno y Cusco, además de los países de Bolivia y el sur de Brasil.

Los principales productos que transitan por el Terminal Portuario de Matarani (TPM) son los minerales, granos, harina de pescado y vehículos usados.

El Terminal Portuario de Matarani (TPM) cuenta con dos rompeolas de 650 y 145 metros de largo respectivamente, un muelle de atraque directo de 583 m, con un calado de 32 pies y un muelle RO-RO (Roll On / Roll Off) de 36 m de largo, 24 m de ancho y con un calado de 28 pies para la carga rodante.

4.7 Puerto de Ilo

El Terminal Portuario de Ilo (TPI) está ubicado en el Distrito de Ilo, Provincia de Ilo, Departamento de Moquegua, al sur del Perú. La distancia de dicho puerto hacia Lima por carretera es de 1,269 Kilómetros, mientras que la distancia por mar hacia el Terminal Portuario del Callao es de 508 Millas.

Actualmente el Terminal Portuario de Ilo (TPI) se encuentra bajo la administración de la Empresa Nacional de Puertos (ENAPU S.A.).

El Terminal Portuario de Ilo (TPI) tiene como zona de influencia la zona sur del Perú, en específico sobre los Departamentos de Moquegua, Arequipa, Tacna, Cusco, Puno y también sobre Bolivia.

Los principales productos que transitan por el Terminal Portuario de Ilo (TPI) son:

- En la importación: azúcar, vehículos y equipos, así como acero, repuestos y accesorios destinados para Bolivia.

- En la exportación: harina de pescado y minerales.

El puerto cuenta con un almacén con una capacidad de 3000 TM. Además cuenta con seis zonas de almacenamiento para la carga general, contenedores, vehículos y graneles.

El Terminal Portuario de Ilo (TPI) cuenta con un muelle de atraque directo, el cual posee cuatro amarraderos y una rampa de desembarque RO – RO (Roll On / Roll Off) para la carga rodante. Las características de esta infraestructura se muestran en el cuadro a continuación.

Cuadro Nº 8: Amarraderos del Terminal Portuario de Ilo (TPI)

Amarraderos	Profundidad	Longitud	Capacidad DWT
Amarradero 1 - A	36 Pies	200 Metros	35,000
Amarradero 1 - B	36 Pies	200 Metros	35,000
Amarradero 1 - C	16 Pies	100 Metros	20,000
Amarradero 1 - D	27 Pies	100 Metros	20,000
Rampa de desembarco	12 Pies	60 Metros	

Fuente: ENAPU

V. Los Puertos Chilenos

Al igual que en caso del Perú y el mundo en general el intercambio de mercancías es realizado principalmente por vía marítima. En el caso de Chile, cerca del 95,0% del intercambio comercial con el exterior se realiza a través de terminales marítimos y en los últimos años, los diversos tratados internacionales de libre comercio han fortalecido su inserción internacional e intercambio con el resto del mundo.

Chile cuenta con más de 4 mil kilómetros de costa sobre el Pacífico y en la actualidad dicho país dispone de 36 puertos, 26 en manos de inversionistas privados y 10 en manos estatales.

Es evidente entonces que para un país situado en una de las zonas económicas más dinámicas del planeta como lo es el Océano Pacífico y con grandes distancias que lo separan de los mercados mundiales, la calidad y eficiencia de los servicios portuarios son un tema clave para el desarrollo nacional.

Percibiendo esta realidad, en la segunda mitad de los años noventa se dio impulso a la modernización del sector portuario nacional, mediante la promulgación de cuerpos legales que concretaran las aspiraciones de autoridades y empresarios. Las medidas dispuestas involucraron una serie de reformas en los principales puertos del país.

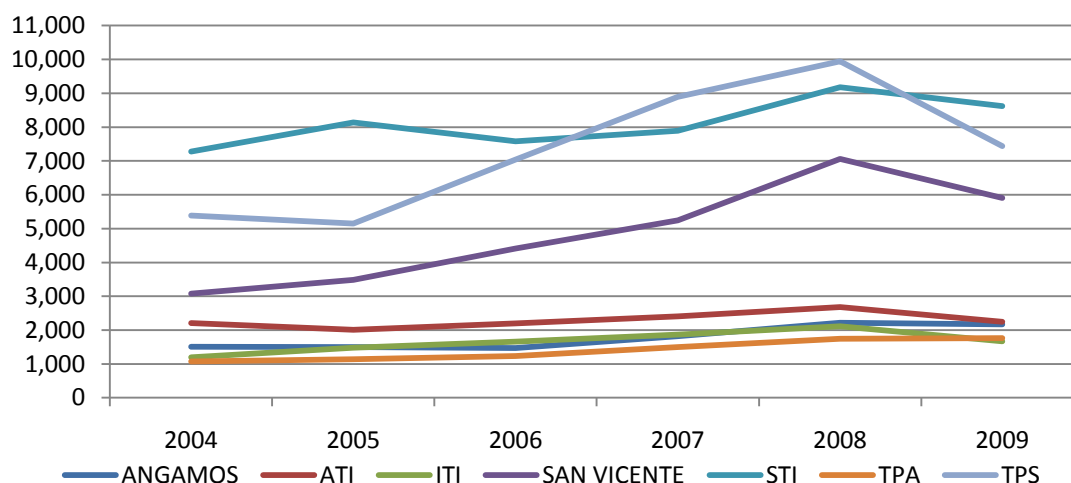
Este nuevo modelo permitió enfrentar el aumento en la velocidad de transferencia de los frentes de atraque, gracias al uso de contenedores y a la introducción de equipos de alta

tecnología para el movimiento de carga a granel o general, también aumentar el tamaño de las naves, reduciéndose así los costos totales del transporte y, por tanto, de los fletes.

El tráfico de carga de los principales puertos chilenos se ha ido incrementado en los últimos años (2004 – 2009). En promedio el Puerto Angamos, ATI, ITI, San Vicente, STI, TPA y TPS en conjunto han movilizado anualmente cerca de 27,5 millones de TM, registrándose la mayor actividad en los puertos de STI TPS y San Vicente, los cuales reportaron movilizaciones de carga de 20 millones anuales en conjunto. Esto muestra cierta descentralización de la actividad económica que poseen los puertos de Chile respecto a los peruanos y si bien ningún puerto chileno supera lo movilizado por el puerto del Callao, los tres puertos en mención si lo hacen.

Por otro lado, Chile también cuenta con ciertos puertos relativamente menores en tamaño con respecto a los de STI TPS y San Vicente, tales como Puerto Angamos, ATI, ITI y TPA los cuales movilizan cada uno alrededor de 2 millones de toneladas anuales y presentan gran carga cautiva proveniente de cada región.

**Gráfico Nº 9: Chile: Tráfico de carga movilizado por puerto
(miles de TM)**



Nota: Se consideró sólo a los principales puertos de Chile (Puerto Angamos, ATI, ITI, San Vicente, STI, TPA y TPS)

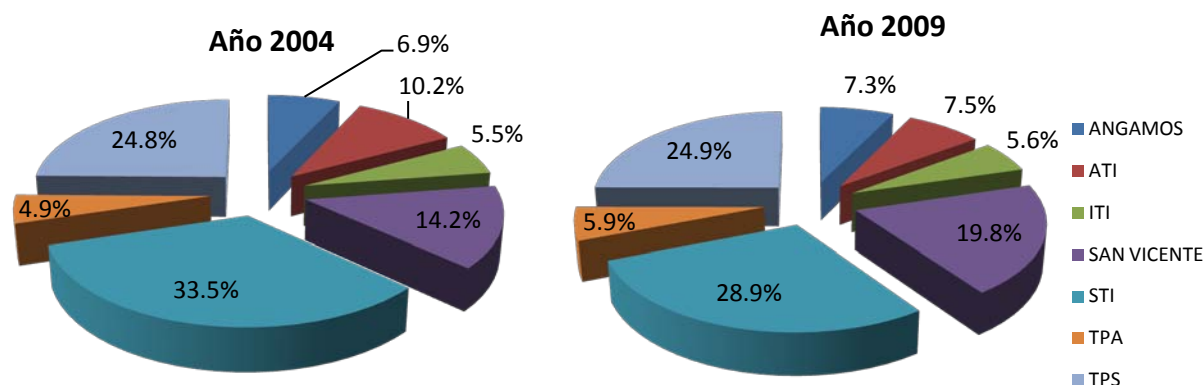
Fuente: Puerto Angamos, ATI, ITI, San Vicente, STI, TPA y TPS

Elaboración: Propia

En lo que respecta a la participación del tráfico de carga, en el Gráfico Nº 10 se observa que el puerto de STI, el cual moviliza mayor volumen de carga, ha disminuido ligeramente su participación pasando de un 33,5% en el 2004 a un 28,9% en el 2009. Por su parte el Puerto de

San Vicente ha incrementado su participación pasando en 5,6 puntos porcentuales y TPS ha mantenido una participación cercana al 25,0%

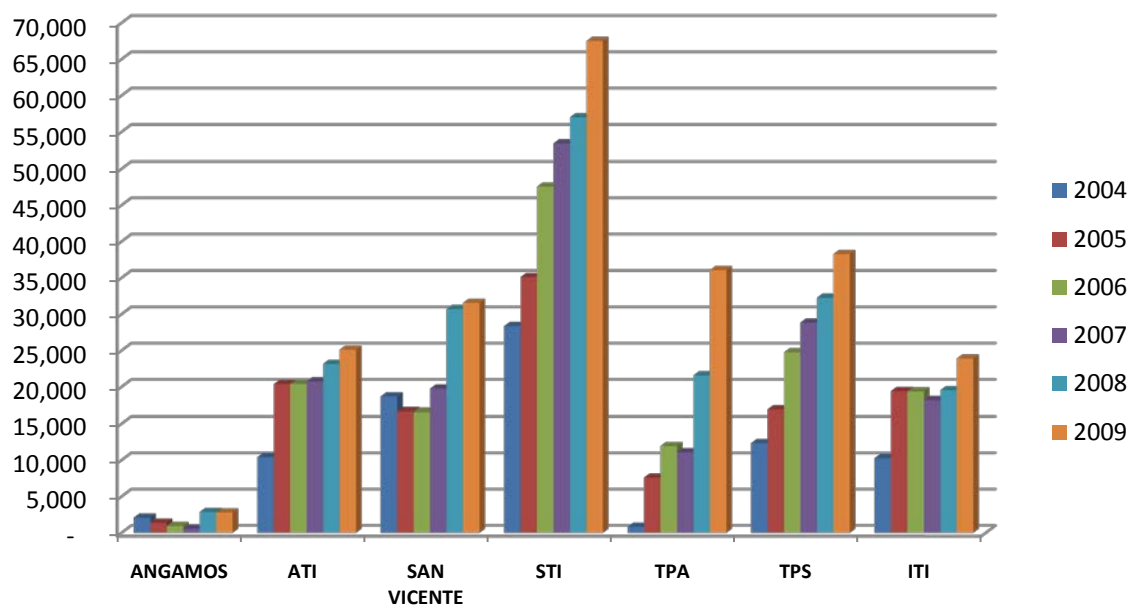
Gráfico N° 10: Chile: Participación del tráfico de carga por puerto: 2002-2009



Nota: Se consideró sólo a los principales puertos de Chile (Puerto Angamos, ATI, ITI, San Vicente, STI, TPA y TPS)
Fuente: Puerto Angamos, ATI, ITI, San Vicente, STI, TPA y TPS
Elaboración: Propia

Finalmente, el Gráfico N° 11 muestra el valor del activo fijo neto por puertos. En él se observa la mayoría de los puertos chilenos han experimentado crecimientos significativos de inversiones, salvo el Puerto de Angamos y el puerto que mayor stock de activos fijos posee al 2009 es el STI. Dichas inversiones realizadas en los puertos chilenos en los últimos años está asociada con la modernización del sector portuario nacional llevada a cabo en los años noventa, el cual promovió la inversión privada en los puertos de dicho país mediante el mecanismo de concesiones.

Gráfico N° 11: Chile: Stock de activo Fijo Neto (Base 2000)



Nota: Se consideró sólo a los principales puertos de Chile (Puerto Angamos, ATI, ITI, San Vicente, STI, TPA y TPS)

Fuente: Puerto Angamos, ATI, ITI, San Vicente, STI, TPA y TPS

Elaboración: Propia

VI. Marco Teórico

El análisis de la eficiencia y la productividad es un campo de creciente relevancia en el ámbito de la actividad económica en general, que ha tomado gran interés en sectores de infraestructura y servicios públicos donde existe regulación, debido al potencial que ofrecen estas técnicas como herramientas de regulación. Puesto que el poder comparar el desempeño de las empresas reguladas permite reducir el problema de la asimetría de información e incrementar la eficiencia de los organismos reguladores, disminuyendo la ineficiencia productiva de las empresas.

Las medidas de eficiencias pueden ser vistas desde dos dimensiones distintas. Por un lado tenemos la eficiencia técnica que hace referencia a la idea de evitar derroche de recursos, ya sea utilizando la menor cantidad de inputs para obtener un nivel determinado de outputs (orientación Input) o obtener la mayor cantidad de outputs dado un nivel determinado de inputs (orientación Output). Por otro lado, la eficiencia asignativa hace referencia a la capacidad de los productores para combinar los inputs y los outputs del modo más adecuado teniendo en consideración sus precios y productividades marginales. La consecución de ambos tipos de eficiencia, eficiencia técnica y asignativa, nos da lo que se conoce como eficiencia global o eficiencia económica.

El primero en plantear consideraciones teóricas relativas a la eficiencia técnica fue Koopmans (1951), quien definió a la eficiencia técnica como un vector compuesto de inputs y outputs, el cual es tecnológicamente imposible incrementar algún output (o reducir algún input) sin reducir simultáneamente algún output (o incrementar algún otro input). Por lo tanto un productor técnicamente ineficiente podría producir los mismos outputs con menor cantidad de al menos un input, o podría usar los mismos inputs para producir más de, al menos, un output.

Debreu (1951) y Farrell (1957) introdujeron una medida de eficiencia del tipo radial, de tal forma que les permitiera cuantificar, porcentualmente el nivel de eficiencia con el que actuaban los productores. Por el lado de los inputs, éste fue definido como la máxima reducción equiproporcional posible de todos los inputs que puede conseguirse para un nivel dado de outputs. Según este criterio, un coeficiente unitario indicaba que la unidad era técnicamente eficiente, puesto que no era factible la reducción equiproporcional de los inputs, si se quisiera seguir produciendo la misma cantidad de outputs. Por el contrario, cuando el coeficiente resulta menor a la unidad, su valor indicaría el porcentaje de utilización de los factores productivos. Si consideramos la eficiencia por el lado del output, éste sería definido como la máxima expansión radial factible de todos los outputs dado el nivel de tecnología y los inputs.

Esta forma de medir la eficiencia resulta menos restrictiva que la propuesta por Koopmans, ya que un productor considerado como eficiente en el sentido de Debreu-Farrell todavía puede reducir la cantidad empleada de algunos inputs (o incrementar algún output) aunque no sea de manera proporcional, dada la aparición de las denominadas holguras, siendo las medidas de eficiencia diferente en función del enfoque adoptado⁹.

Farrell (1957) además de definir el concepto de eficiencia técnica, desarrolló un mecanismo basado en la utilización de ratios que permita calcular índices de eficiencia para cada unidad, separándolas en el componente técnico y asignativo que tiene en cuenta todos los Inputs (recursos empleados) y muestra como puede ser calculada, ilustrando su método mediante una aplicación a la producción agrícola de Estados Unidos¹⁰.

El camino que propuso Farrell (1957), y que desde entonces se ha seguido, consiste en recurrir a las muestras, y a partir de las observaciones disponibles, determinar qué empresas pueden incluirse en la frontera. Dicha frontera tendría que ser entendida en un sentido empírico, no teórico; se le suele denominar la “mejor práctica”, y servirá como referencia para calcular los índices de eficiencia del resto de las empresas.

De este modo Farrell (1957) propuso dos alternativas de estimación, en la primera se usa una muestra asumiendo una tecnología no paramétrica lineal por tramos, la cual posteriormente con las publicaciones de Charnes, Cooper y Rhodes (1978), Banker, Charnes y Cooper (1984) derivó en los modelos DEA (Data Envelopment Analysis). Un segundo camino propuesto por Farrell (1957) hizo referencia a la posibilidad de estimar econométricamente una función de producción, de modo tal que ninguna observación resultara por encima de ella. Este fue el camino seguido por Aigner y Chu (1968), y más tarde por Aigner Lovell y Schmidt (1977) y Meeusen y Van Den Broeck (1977). En estos dos últimos trabajos, simultánea aunque independientemente, se desarrolló el concepto de frontera estocástica.

El método consiste en incorporar dos perturbaciones a alguna función de comportamiento eficiente, ya sea una función de producción, función de costos o función de beneficios. Una de las perturbaciones es simétrica y recoge el componente aleatorio, mientras que la otra esta sesgada y mide la ineficiencia.

Luego de ello se procede mediante técnicas econométricas a estimar los parámetros de la frontera, donde con frecuencia se especifica una determinada distribución estadística para cada una de las dos perturbaciones y se suele estimar por el método de máxima verosimilitud.

⁹ Para mayor detalle al respecto ver Anexo N° 2

¹⁰ Para mayor detalle al respecto ver Anexo N° 3

Posteriormente se calcula la eficiencia de cada empresa a partir del valor estimado para la perturbación de carácter sesgado anteriormente mencionada.

La frontera que se obtiene con este método, a diferencia de lo que ocurre con el empleo del análisis de envolvente de datos, tiene un carácter paramétrico, en cuanto se postula una forma funcional específica que explica el comportamiento eficiente de las empresas. La estimación proporciona unos índices de eficiencia con propiedades estadísticas, lo que permite plantear contrastes de hipótesis sobre los resultados.

Con el análisis de envolvente de datos, por el contrario, se obtiene una frontera no paramétrica, en cuanto que no se postula una forma funcional; únicamente se encuentra un conjunto de empresas eficientes a partir de las cuales, mediante combinaciones lineales, se obtiene la envolvente. Esto representa una ventaja aparente en el caso del DEA por la mayor flexibilidad del método, pero el inconveniente fundamental consiste en la falta de propiedades estadísticas de los resultados obtenidos con la programación matemática.

Por otro lado, la estimación de fronteras estocásticas distingue entre las dos fuentes posibles de desviaciones respecto a la frontera: ineficiencia y error aleatorio. El DEA, sin embargo, proporciona una frontera determinista, ya que toda la desviación de la frontera se atribuye a ineficiencia, y en ningún caso a error aleatorio. Precisamente por esta razón, el análisis de envolvimiento de datos resulta muy sensible a la presencia de outliers dentro de la muestra, que pueden influir en los índices de eficiencia finalmente encontrados.

La estimación de fronteras estocásticas presenta un inconveniente que consiste en la sensibilidad que ofrecen los resultados a la especificación de distintas distribuciones estadísticas para el término de ineficiencia. Sin embargo, los estudios comparativos realizados resultan parecidos en cierta medida, ya que los rankings de eficiencia obtenidos con diferentes especificaciones y distintos métodos de estimación, suelen presentar un alto grado de correlación estadística. Un resumen detallado mostrando las características de estos métodos se aprecia en el Cuadro Nº 9.

Cuadro Nº 9: Comparación de los modelos DEA y SFA

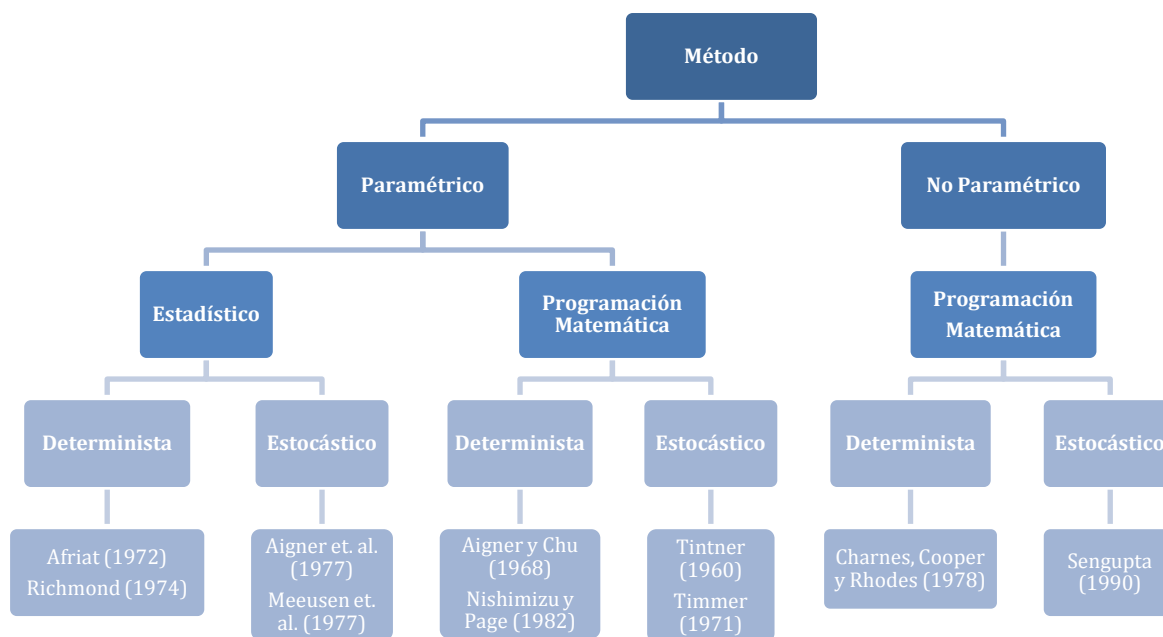
	Método	
	DEA	SFA
Enfoque	No paramétrico	Paramétrico
Relación con el error	No explica el ruido	Explica el ruido
Permite medir	Eficiencia Técnica, Eficiencia de Escala, Eficiencia Asignativa y cambio en la PTF (con datos de panel).	Eficiencia Técnica, Economías de Escala, Eficiencia Asignativa.
Requerimientos de Información	Estándar: Cantidades de productos e insumos. Eficiencia en Costos: Cantidades de productos e insumos y precio de insumos. Eficiencia en Ingresos: Cantidades de productos e insumos y precio de los productos. Eficiencia en Beneficios: Cantidades de productos, insumos y precio.	Depende del modelo Usado. Función de Producción y distancia: Cantidad de productos e insumos. Función de costos: Costos, cantidad de productos y precio de insumos. Función de beneficios: beneficios, cantidades, precio de Insumos y productos.
Método de Estimación	Programación Matemática	Econometría
Otras observaciones	No requiere especificar una forma funcional. Sensible al número de variables, errores de medida y outliers. No realiza supuestos sobre la distribución del término ineficiencia.	Requiere la especificación de alguna forma funcional. Puede confundir ineficiencia con alguna mala especificación del modelo.

Fuente: Fried, Lovell, Schmidt (2008)

Elaboración: Propia

No existen argumentos concluyentes en favor de uno u otro método. Finalmente, la elección entre ambos dependerá de los datos con los que se cuente y de las preferencias del investigador (aunque en muchos casos se aplica ambas metodologías a la misma muestra para darle mayor “robustez” al benchmark y a las medidas de eficiencia encontradas. En cualquier caso, independientemente del método empleado, la eficiencia estimada es de carácter relativo, ya que la inclusión de una nueva observación, aunque nunca puede elevar los índices de eficiencia encontrados previamente, sí puede empeorarlos; dado que, si la nueva empresa presenta un comportamiento mejor que el resto, quedará incluida en la frontera. La frontera hallada de esta forma siempre tiene un carácter empírico, y constituye la mejor práctica encontrada.

Gráfico N° 12: Métodos de Estimación de la Eficiencia Técnica



Fuente: Modificado de Vicente Coll y Olga Blasco (2006)
Elaboración: Propia

El concepto de eficiencia está directamente relacionado con la medida de la productividad; sin embargo, éstos son diferentes. La productividad puede ser definida como la cantidad de producción obtenida por unidad de factores de producción usados para obtenerlas (Parkin, 1995). Por su parte, la eficiencia descansa en la comparación de los valores observados de productos y factores con unos valores óptimos relativos, que proceden de la evidencia proporcionada por otras empresas, es decir que una empresa puede ser técnicamente eficiente, pero todavía ser capaz de incrementar su productividad al explotar economías de escala (Coelli, Prasada Rao y Battese 1998)¹¹.

Cuando se realiza mediciones de productividad, usualmente se hace referencia a la productividad media, y en el caso de un entorno uniproducto, dicha medición se refiere, por lo general, a productividades parciales, las cuales están en función al factor de producción elegido. Una de las principales desventajas de dichas mediciones es que no muestra una medida de desempeño de los productores evaluados o de las DMU-Decision Making Unit¹² evaluada de manera global, incurriendo muchas veces en contradicción de cual empresa o

¹¹ Para mayor detalle ver Anexo N°1

¹² Este término fue planteado por Charnes, Cooper y Rhodes (1978) para referirse a los productores evaluados.

unidad evaluada es más o menos productiva, puesto que esto podría variar dependiendo de cual factor de producción sea elegido para realizar la comparación.

En ese sentido, resulta conveniente el medir la Productividad Total de los Factores (PTF), el cual representa el cociente entre una definición agregada (ponderada) de producto (y) y una definición agregada de insumo (x).

La PTF puede ser representada de la siguiente manera:

$$PTF_t = \frac{y}{x} = \frac{\sum_{i=1}^m a_{i,t} y_{i,t}}{\sum_{j=1}^n b_{j,t} x_{j,t}}$$

Donde a_i y b_j son los ponderadores.

Es posible determinar el cambio porcentual en la TFP, mediante números índice, a través de dos enfoques: Primal y Dual. El enfoque Primal considera la función de producción y la utilización de los factores productivos (mano de obra sin calificar (L), capital físico (K) y materias primas (M), en un caso sencillo).

$$Y_t = A_t F(L_t, K_t, M_t)$$

Asume una función de producción homogénea de grado uno (retornos constantes a escala), lo cual sólo es compatible con un mercado competitivo. Asimismo, asume que la parte de la producción que no es explicada por los factores productivos (denominada Residuo de Solow) representa el impacto del cambio tecnológico (A) en la producción.

Aplicando diferencial total y considerando el supuesto de que la función de producción es homogénea de grado uno, los cambios en la productividad o la tasa de crecimiento del producto se explica sólo por cambio tecnológico, resultando la empresa o unidad evaluada siempre eficiente desde un punto de vista técnico

$$\left(\frac{dA_t}{A_t} \right) = \left(\frac{dY_t}{Y_t} \right) - \left[\alpha_L \left(\frac{dL_t}{L_t} \right) + \alpha_K \left(\frac{dK_t}{K_t} \right) + \alpha_M \left(\frac{dM_t}{M_t} \right) \right]$$

$$\Delta\% PTF = \Delta\% Y - \Delta\% X$$

Es por ello que bajo este enfoque no es posible desagregar el cambio en la productividad.

El enfoque Dual parte de la definición de ingresos de la empresa y mide el cambio en la PTF como el cambio de los precios de los factores productivos, netos de inflación.

Definiendo los ingresos como $PY = RK + WL + P_M M + \Pi$ y los costos $C = RK + WL + P_M M$.

Asimismo que los beneficios son nulos se puede obtener:

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = \frac{RK}{C} \left(\frac{\dot{K}}{K} + \frac{\dot{R}}{R} \right) + \frac{WL}{C} \left(\frac{\dot{L}}{L} + \frac{\dot{W}}{W} \right) + \frac{P_M M}{C} \left(\frac{\dot{M}}{M} + \frac{\dot{P}_M}{P_M} \right) - \frac{\dot{P}}{P}$$

La relación que se encuentra entre el enfoque primal y dual es:

$$\underbrace{\frac{\dot{Y}}{Y} - \frac{RK}{C} \frac{\dot{K}}{K} - \frac{WL}{C} \frac{\dot{L}}{L} - \frac{P_M M}{C} \frac{\dot{M}}{M}}_{Primal} = \underbrace{\frac{RK}{C} \frac{\dot{R}}{R} + \frac{WL}{C} \frac{\dot{W}}{W} + \frac{P_M M}{C} \frac{\dot{P}_M}{P_M}}_{Dual} - \frac{\dot{P}}{P}$$

Los índices más utilizados para el cálculo de la PTF son el índice de Fisher (1922), el índice de Törnqvist (1936) y el índice de Malmquist (1953).

Los números índices de PTF como el Índice de Fisher y el de Törnqvist presentan la desventaja de emplear los precios como ponderadores. La razón es que los precios usualmente se encuentran afectados por factores, tales como: la inflación, la devaluación, entre otros. Por lo tanto, podría ocurrir, por ejemplo, que el “incremento de la productividad” tenga su origen en un aumento de los precios por efecto de la inflación, en lugar, de que su origen se encuentre en incremento en la producción (o una reducción en el uso de los insumos). En el caso de las industrias reguladas, la situación se complica aún más, ya que los precios que se utilizan en los índices no reflejan el “precio de mercado”, sino que son fijados por el Regulador, lo que puede incrementar el nivel de distorsión del cálculo.

Otra de las desventajas que tienen los números índices basados en precios, son que no pueden ser empleados para descomponer la PTF en los componentes asociados a un cambio Tecnológico (desplazamiento de la frontera), cambio en la eficiencia técnica (catch-up), cambio en la eficiencia de escala y cambio en eficiencia asignativa.

Por otro lado, los números índices tienen la ventaja de que sólo se necesita datos de dos observaciones, por ejemplo dos empresas, mientras que los métodos de fronteras requieren información de un gran número de empresas.

En general, cada uno de estos índices asume determinadas funciones de producción. Es decir, parten del supuesto de que las empresas, para combinar sus insumos y obtener sus productos, utilizan un determinado tipo de “tecnología”. Situación que no necesariamente sucede en la realidad. Un resumen de la tecnología que asumen dichos índices se observa en el Cuadro N° 10.

Cuadro N° 10: Los Números Índices y la tecnología

Número Índice	Función de Producción	Fórmula
Laspeyres	Lineal	$Y_L = \frac{\sum_{i=1}^M p_i^t y_i^{t+1}}{\sum_{j=1}^M p_j^t y_j^t}$
Paasche	Lineal	$Y_P = \frac{\sum_{i=1}^M p_i^{t+1} y_i^{t+1}}{\sum_{j=1}^M p_j^{t+1} y_j^t}$
Fisher	Cuadrática	$Y_F = (Y_P \cdot Y_L)^{(1/2)}$
Törnqvist	Translogarítmica	$Y^T = \prod_{m=1}^M \left(\frac{y_{mt}}{y_{m0}} \right)^{\left(\frac{w_{mt} + w_{m0}}{2} \right)}$

Fuente: Basado en Coelli, Prasada Rao y Battese (1998)
Elaboración: Propia

Frente a las limitaciones que presentan los índices mencionados, surge como alternativa el Índice de Malmquist, el cual tiene la ventaja que no requiere supuestos de conducta, ni precios. Asimismo, dicho índice es construido a partir de los programas de optimización lineal empleados en el DEA. Esto lo hace muy indicado para analizar cambios en la productividad en el sector público o en sectores regulados.

6.1 Medición de la Eficiencia Técnica: Data Envelopment Analysis (DEA)

El DEA es una técnica de programación matemática, cuyo objetivo es obtener una superficie envolvente, frontera eficiente o función de producción empírica a partir de los datos disponibles de las *DMU's*¹³, de manera que incluya a todas las unidades eficientes dentro de la frontera, junto con sus combinaciones lineales. De esta manera, quedan las unidades ineficientes fuera de la frontera, permitiendo evaluar la eficiencia relativa de cada una de las unidades.

La metodología se da a conocer recién en 1978 con una publicación realizada por Charner, Cooper y Rhodes (CCR), en base a la tesis doctoral presentada por Rhodes, quien tomo como referencia el trabajo de Farrell (1957).

¹³ Este término es la abreviatura de "Decisión Making Unit" planteada por Charnes, Cooper y Rhodes (1978) para referirse a los productores evaluados.

A diferencia de los modelos paramétricos, con el DEA la construcción no se establece a priori basándose en una función de producción ideal, sino que son los propios datos de las unidades de producción los que determinan la forma y la localización de la frontera, lo que nos da una aproximación a la verdadera frontera eficiente.

El DEA asume que todas las unidades de decisión en el mercado (DMU) dentro de la muestra tienen acceso a la misma tecnología de transformación de un vector de N inputs, denotado por x en un vector de M outputs, denotado por y . Asumiremos que la tecnología puede ser caracterizada por un conjunto de posibilidades de producción T , definido como¹⁴:

$$T = \{(x, y) \in \mathbb{R}_+^N \times \mathbb{R}_+^M : x \in \mathbb{R}_+^N \text{ puede producir } y\}$$

Al optar por una orientación al input, podemos representar el conjunto de posibilidades de producción formalmente:

$$L(y) = \{x : (y, x) \in T\}$$

La frontera del conjunto de posibilidades de producción se representa mediante una isocuanta, definida como el subconjunto de procesos productivos que permiten producir al menos un determinado vector de output:

$$IsoqL(y) = \{x : x \in L(y), \lambda x \notin L(y), \lambda \in (0, 1)\}$$

La distancia de la frontera de una DMU particular puede depender de varios factores específicos, que pueden ser endógenos como incentivos internos consecuencia de la estructura de la propiedad, y/o exógenos como la condición demográfica.

La medida de eficiencia de la j th DMU según Farell-Debreu orientada al input seria:

$$TE_j(y, x) = \min \{\theta : \theta x \in L(y)\}$$

De ello se puede definir la medida de eficiencia Debreu-Farrel mediante una función de distancia orientada al input (Shepard, 1953):

$$D_j(y, x) = \max \{\lambda : (x/\lambda) \in L(y)\}$$

Donde λ es un escalar perteneciente al intervalo $[0, 1]$ que mide la distancia radial que separa el vector input de la frontera de producción.

¹⁴ Ver detalles Färe y Primont, 1995.

Resultando una relación inversa entre la medida de eficiencia técnica y la función de distancia de la siguiente manera:

$$TE_j(y, x) = 1/D_I(y, x)$$

En la práctica T no es observable, así que se estima con un modelo DEA orientado al input:

$$T_{est} = \left\{ (x, y) \in \mathbb{R}_+^N \times \mathbb{R}_+^M : \sum_{k=1}^n z_k y_m^k \geq y_m, m=1, \dots, M, \sum_{k=1}^n z_k x_i^k \leq x_i, i=1, \dots, N, z_k \geq 0, k=1, \dots, n \right\}$$

Donde $z_k \geq 0$ ($k=1, \dots, n$) son las proporciones de las variables a optimizar¹⁵. Este estimador resulta consistente bajo el supuesto de retornos constantes a escala (modelo DEA-CCR); sin embargo, ya que estamos en un sector con características de subaditividad se deberá incluir la restricción de $\sum_{k=1}^n z_k = 1$, que permite que las DMU operen con una tecnología con retornos a escala variables (modelo DEA-BCC).

Las medidas de eficiencia $TE_{estj}(j=1, \dots, n)$ se obtienen reemplazando T por T_{est} en $TE_j(y, x) = \min \{ \theta : \theta x \in L(y) \}$ donde $TE_{estj} \leq 1$ representa el nivel de eficiencia relativa de la j-ésima DMU ($j=1, \dots, n$) para la mejor práctica estimada de la frontera tecnológica, T_{est} , siendo $TE_{estj} = 1$ para las firmas que se encuentran en la frontera eficiente. A continuación se realiza una revisión más detallada sobre la metodología DEA.

El modelo DEA-CCR¹⁶ proporciona medidas de eficiencia radiales, ya sean con orientación input u output, supone convexidad fuerte, eliminación gratuita de los inputs y outputs y rendimientos constantes a escala. Además de ello, el modelo puede escribirse en tres formas distintas:

- Forma Fraccional (cociente)
- Forma Multiplicativa
- Forma Envolvente¹⁷

Sin embargo, en la práctica, muchas veces resulta ser más sencillo el cálculo del DEA en su forma dual¹⁸, ó también conocido como su forma envolvente, mediante la cual se construye una

¹⁵ Para más detalles sobre el DEA, ver Fare, Grosskopf y Lovell (1994), Charnes et. al (1995), Coelli, Prasada y Battese (1998), Copper et al (2000) y Thanassoulis (2001).

¹⁶ Modelo DEA de Charner, Cooper y Rhodes (1978).

¹⁷ Cabe resaltar, que por cuestiones operativas, en la mayor parte de los trabajos empíricos se recurre la formulación envolvente, siendo ésta, también la forma a la que se recurren la mayor parte de las aplicaciones informáticas para obtener las puntuaciones de eficiencia de las DMU's.

aproximación lineal por tramos a la verdadera frontera¹⁹. Para el caso de la orientación input el modelo DEA-CCR queda expresado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 & \underset{\theta, \lambda}{Min} \quad z_0 = \theta \\
 & s.a \\
 & \sum_{k=1}^N \lambda_k y_{jk} \geq y_{j,0} \quad j = 1, \dots, m \\
 & \theta x_{i,0} \geq \sum_{k=1}^N \lambda_k x_{i,k} \quad i = 1, \dots, n \\
 & \lambda_k \geq 0 \quad k = 1, \dots, N
 \end{aligned}$$

Donde:

1. λ_k es el ponderador de la de la k-ésima *DMU*.
2. θ representa las medidas de eficiencia técnica de la *DMU* _{θ} (la *DMU* que está siendo evaluada).

La preferencia en utilizar el modelo DEA-CCR en su forma envolvente (dual) en el caso de una orientación al input, es porque por lo general brinda menos restricciones que el modelo primal. Es decir, el modelo DEA-CCR dual input orientado está sujeto a $n+m$ restricciones, mientras que su representación primal presenta $N+1$ restricciones y en la mayoría de los casos el número de *DMUs* con los que se trabaja suele ser mayor a la suma del número de inputs y outputs. Es por ello que generalmente se prefiere resolver el programa en su representación dual (Coelli, Prasada Rao y Battese, 1998).

Por otro lado, si elegimos el DEA-CCR con orientación output en su forma envolvente quedaría expresado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 & \underset{\theta, \lambda}{Max} \quad z_0 = \theta \\
 & s.a \\
 & \sum_{k=1}^N \lambda_k y_{jk} \geq \theta y_{j,0} \quad j = 1, \dots, m \\
 & \sum_{k=1}^N \lambda_k x_{i,k} \leq x_{i,0} \quad i = 1, \dots, n \\
 & \lambda_k \geq 0 \quad k = 1, \dots, N
 \end{aligned}$$

¹⁸ Para todo programa primal siempre existe un dual asociado, que puede ser utilizado para determinar la solución del programa primal. Existiendo una variable dual por cada restricción primal y una restricción dual por cada variable primal.

¹⁹ Para mayor detalle sobre la representación del DEA CCR en su forma Fraccional (cociente) y forma multiplicativa ver Anexo N° I.4.

A partir del Gráfico N° 13 y tomando como referencia la DMU A, puede verse cómo la frontera estimada bajo rendimientos variables a escala (RVE) está más cerca de la envoltura lineal convexa que la frontera estimada suponiendo rendimientos no crecientes a escala (RNCE) y ésta, a su vez, está más próxima que la de rendimientos constantes a escala (RCE). Por tanto, la eficiencia técnica Input/Output pura, estimada mediante el modelo DEA-BCC, que considera RVE, es no-menor que la eficiencia técnica Input/Output estimada mediante el modelo DEA-CCR, que considera RCE. Esta última es una medida de eficiencia técnica total (ETT) que puede ser descompuesta en eficiencia técnica pura (ETP) y eficiencia escala (EE).

Si consideramos una orientación Input, puede observarse cómo la eficiencia de la DMU A viene dada por el cociente DC/DA ²⁰ bajo los supuestos de rendimientos constantes o no crecientes a escala, mientras que si la DMU A opera con tecnología de rendimientos variables, la eficiencia vendría dada por DB/DA . La diferencia entre una medida y otra, es decir, la distancia, es la EE, es decir la parte de la eficiencia técnica que es influenciada por la escala de producción de cada DMU.

En resumen tenemos:

$$ETT = ETP.EE$$

$$ETT = \frac{DB}{DA} \frac{DC}{DB}$$

Por lo tanto si $EE=1$ entonces la $ETT=ETP$, lo cual nos indica que la DMU no presenta ineficiencias de escala, estando ésta en la escala óptima. Por el contrario, si la DMU presentase ineficiencias de escala ($EE<1$), para conocer con que tipos de rendimientos a escala opera la DMU (rendimientos crecientes o decrecientes a escala) se debe comparar la frontera con RNCE con RVE.

En resumen, la frontera con RCE es más restrictiva y por lo general arrojará un menor número de DMU eficientes, asimismo las medidas de eficiencia serán menores.

Por otro lado, cabe señalar que la eficiencia orientada al input y al output bajo RVE, no tienen por qué ser necesariamente iguales. Por ello la elección de la orientación a aplicar deberá de ser una elección de suma importancia al calcular las medidas de eficiencia.

Ramanathan (2003), considera que el modelo DEA a emplear (input o output orientado) dependerá de que variables están bajo el control de la DMU. Si ésta no tiene bajo control los inputs, el modelo más adecuado a emplear sería el DEA con orientación al output. Si por el

²⁰ La ineficiencia viene dada por la distancia CA

contrario, los resultados del proceso (outputs) son considerados como dados, sería conveniente el modelo DEA con orientación al input. Además de ello, si el rendimiento de las DMUs a comparar no depende de la escala de operación el supuesto de RCE resulta ser el más apropiado.

La representación dual, que es la más utilizada por las ventajas mencionadas anteriormente²¹, en el caso de una orientación input, queda expresada como:

$$\begin{aligned}
 & \underset{\theta, \lambda}{Min} \quad z_0 = \theta \\
 & s.a \\
 & \sum_{k=1}^N \lambda_k y_{jk} \geq y_{j,0} \quad j = 1, \dots, m \\
 & \theta x_{i,0} \geq \sum_{k=1}^N \lambda_k x_{i,k} \quad i = 1, \dots, n \\
 & \sum_{k=1}^N \lambda_k = 1 \\
 & \lambda_k \geq 0 \quad k = 1, \dots, N
 \end{aligned}$$

Donde $\sum_{k=1}^N \lambda_k = 1$ representa la restricción de convexidad²², que está asociada a la variable r (variable primal del modelo DEA-CCR). Es decir, mientras en los modelos DEA-CCR el punto de proyección es una combinación lineal de DMU's eficientes que permanecen sobre una cara de la envolvente eficiente, en los modelos DEA-BCC dicho punto de proyección es una combinación lineal convexa²³.

La resolución del problema dado por el modelo, producirá unos valores óptimos para DMU_0 de forma que:

²¹ Para la representación del modelo DEA de Banker, Charnier y Cooper (1984) en su forma fraccional y multiplicativa ver Anexo N° 5.

²² La restricción $\sum_{k=1}^N \lambda_k = 1$ restringe el rango de valores que pueden tomar las componentes de intensidad de manera que sumen 1. De esta manera, se impone únicamente la propiedad de convexidad, pero no la de rendimientos constantes. Por lo tanto, el nuevo estimador del conjunto de posibilidades de producción incluye todas las combinaciones lineales convexas de unidades observadas (por este motivo deben sumar 1 las componentes de intensidad) pero no se permite reescalar arbitrariamente la actividad de ningún proceso observado.

²³ La restricción de convexidad asegura que la DMU combinada es de tamaño similar a la DMU_0 y no es una extrapolación de otra unidad combinada que opera en una escala de diferente tamaño. La medida de eficiencia obtenida para la DMU_0 es su eficiencia técnica pura (Boussofiane, Dyson y Thanassounis 1991).

- $\sum_{k=1}^N \lambda_k > 1$, prevalecen localmente rendimientos decrecientes a escala para la DMU_0
- $\sum_{k=1}^N \lambda_k = 1$, prevalecen localmente rendimientos constantes a escala para la DMU_0
- $\sum_{k=1}^N \lambda_k < 1$, prevalecen localmente rendimientos crecientes a escala para la DMU_0

Por otro lado, si elegimos el DEA-BCC con orientación output en su forma envolvente quedaría expresado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 & \underset{\theta, \lambda}{Max} \quad z_0 = \theta \\
 & s.a \\
 & \sum_{k=1}^N \lambda_k y_{jk} \geq \theta y_{j,0} \quad j = 1, \dots, m \\
 & \sum_{k=1}^N \lambda_k x_{i,k} \leq x_{i,0} \quad i = 1, \dots, n \\
 & \sum_{k=1}^N \lambda_k = 1 \\
 & \lambda_k \geq 0 \quad k = 1, \dots, N
 \end{aligned}$$

Nuevamente, en el caso de que $\theta = 1$, la DMU_0 se considera eficiente, pues no existe otra que produzca más o que consiga el mismo nivel de producción con menores recursos que ella.

Puesto que estamos frente a un modelo determinista, las estimaciones obtenidas mediante el modelo DEA, desarrollados hasta el momento, presentan el problema de ser muy sensibles a la presencia de outliers y a la especificación del modelo.

El carácter determinista de estos modelos, ha dado lugar al desarrollo de un modelo DEA estocástico, el cual permite estimar indicadores de eficiencia más estables, reduciendo en la medida de lo posible los efectos de las perturbaciones aleatorias (Sengupta, 1987; Land, Lovell y Thore, 1988; Olesen y Petersen, 1995). Sin embargo, las aplicaciones empíricas realizadas con este modelo son escasas pues su correcta implementación requiere gran cantidad de datos.

En lo referente a la especificación del modelo, la inexistencia de una forma funcional específica convierte a la selección de las variables incluidas en el programa en la decisión central. Dado que a diferencia de los modelos econométricos, en el DEA no se dispone de un test de relevancia conjunta de las variables como el R^2 o la F, que nos brinde información de la robustez de los resultados obtenidos, y si estos se deben o no a las variables utilizadas.

Asimismo, el carácter no paramétrico del DEA sólo permite obtener índices puntuales de eficiencia de las DMUs, haciendo imposible determinar la precisión de las estimaciones mediante la contrastación de hipótesis.

Sin embargo, últimamente se han desarrollado diferentes propuestas metodológicas para tratar de dotar al modelo DEA un carácter estadístico adecuado. La alternativa más atractiva consiste en utilizar una aproximación empírica para estimar las distribuciones de los estadísticos poblacionales a través de métodos de remuestreo, siendo el bootstrap la alternativa más utilizada²⁴.

6.2 Variables Ambientales e Inputs no Controlables

Dentro de los requisitos de los modelos DEA, uno de ellos es que las unidades comparadas sean homogéneas, lo que implica que no pueden existir grandes disparidades en términos de inputs empleados y output producidos, así como que todas ellas actúen en circunstancias similares. En caso contrario, una evaluación negativa de alguna de ellas podría depender de factores fuera de su alcance.

Este tipo de problemas daría lugar a una contradicción. Puesto que una correcta evaluación requeriría la inclusión de estas variables en el análisis pero, por otro lado, no tendría sentido establecer, por ejemplo, un objetivo sobre el porcentaje de reducción en el consumo de un input que la DMU tendría que alcanzar para ser eficiente, si dicho input estuviera al margen de su control. Por ello existen modelos alternativos, mediante el cual se tratan los factores exógenos.

Dentro de las variables exógenas en la literatura, resulta conveniente diferenciar entre dos tipos de variables, que muchas veces son consideradas como análogas, sin embargo presentan características específicas que exigen un tratamiento diferenciado en el análisis. Estos dos tipos de variables son los inputs no controlables y las variables de entorno o ambientales.

Los primeros son factores que, al igual que el resto de inputs, intervienen en el proceso de producción, pero la cantidad de éstos no está bajo control de los productores, aunque estas influyan en los resultados.

Por otro lado, las variables ambientales no intervienen en el proceso productivo directamente por lo que deberán de ser excluidas en construcción de los índices de eficiencia. Sin embargo, estas variables juegan un importante papel en el proceso, en las medidas que nos da señales

²⁴ Para un mayor detalle del método de remuestreo por bootstrap ver anexo N° 6

de un comportamiento eficiente de ciertos productores. Un ejemplo de éstas podría ser la ubicación geográfica, el tipo de propiedad, etc.

Las alternativas para la incorporación de las variables exógenas (no controlables y ambientales) mediante el DEA son agrupados en tres grupos:

- a) Modelos de separación de Fronteras
- b) Modelos de una etapa
- c) Modelos de varias etapas

a) Modelos de separación de Fronteras

Estos modelos persiguen la identificación de diferencias entre programas productivos alternativos mediante la realización de varios DEAs consecutivos.

Dicho modelo consiste en dividir el conjunto total de unidades en varias submuestras, bajo el criterio que toma la variable exógena, y luego se aplica un DEA en cada bloque. Seguidamente se modifican los valores originales de las *DMUs* eficientes con la finalidad de compensar las diferencias de eficiencia entre unidades del mismo programa. Estos valores modificados se corresponden con los que alcanzaría una *DMU* si fuera eficiente (proyección sobre la frontera) teniendo en cuenta la restricción de actuar con las condiciones de un determinado programa. Finalmente, se aplica el *DEA* en el que se incluyen todas las *DMUs* con sus datos modificados. Estos nuevos índices muestran la ineficiencia explicada por pertenecer a una determinada categoría.

Estos modelos resultan recomendables cuando se emplean variables ambientales o de entorno, debido a la exigencia de que un número reducido de variables exógenas (categóricas) explique las principales diferencias existentes entre las *DMUs*. Sin embargo, si dentro de las variables exógenas existen variables no controlables continuas, cuya probabilidad de existencia es alta, este tipo de modelos no resulta adecuado.

Dentro de las extensiones de este modelo destaca el trabajo de Brockett y Golany (1996), en cuyo documento formaliza la comparación de fronteras, mediante el uso del estadístico de Mann Whitney, para evaluar la significancia estadística de las diferencias observadas entre los programas. Asimismo Dios et. al. (2005) proponen una ampliación basada en la incorporación de una etapa adicional que permite estimar el nivel de eficiencia con el que actúa cada *DMU*, una vez eliminada el efecto de la variable exógena categórica.

a) Modelos de una etapa

Los modelos de una etapa incluyen la información sobre los inputs no controlables en la construcción de los índices de eficiencia, mediante un DEA, en el cual se modifican ciertas restricciones para dar un tratamiento diferenciado a éstas variables. Este tipo de planteamiento tiene la ventaja de simplificar el cálculo de los índices de eficiencia, sin embargo presenta algunos problemas de carácter metodológico relacionados fundamentalmente con la pérdida de grados de libertad por la incorporación de nuevas variables al modelo. Además de ello, éste modelo es posible aplicarlo, tan sólo si la orientación elegida es input orientada, siendo los índices obtenidos bajo esta metodología siempre mayores o iguales que los resultantes bajo un modelo DEA sin variables exógenas. Resultando imposible ajustar a la baja el índice de las unidades que se benefician de un entorno relativamente favorable.

Estos problemas mencionados, ha llevado a que sea poco recomendable el abordar la incorporación de inputs no controlables mediante modelos de una etapa, más aún si el análisis adopta una orientación al output. Dicho esto, una orientación multietápica resultaría una salida mucho más apropiada.

b) Modelos de varias etapas

Dentro del enfoque multietápico caben diferentes propuestas, pero todas comparten la característica central, de realizar en la primera etapa un modelo DEA estándar sin la influencia de los inputs no controlables o variables de entorno y posteriormente cada modelo plantea diferentes caminos para corregir estos índices incorporando el efecto de éstos inputs.

La propuesta más conocida y abordada en la literatura, es conocida como “análisis de regresión o segunda etapa”, y consiste en realizar un ajuste sobre los índices de eficiencia iniciales a partir de los parámetros estimados en una regresión en la que se incluyen los índices de eficiencia iniciales (θ_k) como variable dependiente y las variables representativas de los input no controlables o variables de entorno (Z_k) como regresores. Dicha estimación es posible realizarse de diferentes maneras, sin embargo la más recomendable es aplicando un modelo Tobit, puesto que los índices de eficiencia presentan censura.

Sin embargo, estos modelos presentan importantes limitaciones. Una de ellas es que, al considerar únicamente el componente radial de la eficiencia, asumen erróneamente que la influencia de las variables discrecionales es la misma sobre todas las variables del proceso (inputs y outputs). La segunda limitación, mucho más relevante, es el hecho de generar sesgo en los parámetros de la estimación, debido a la existencia de correlación entre los valores de

los índices de eficiencia calculados en la primera etapa (variable dependiente), incumpléndose, un requisito fundamental en el análisis de regresión (independencia en los errores). Este tipo de problemas puede evitarse mediante el uso de los algoritmos propuestos por Simar y Wilson (2007), quienes mediante la aplicación de técnicas de doble bootstrap en la estimación de los parámetros dan solución a este problema.

Por otro lado, existen otros modelos que se basan en la utilización de los *slacks* totales (componente radial y no radial) de las variables estimadas en el *DEA* inicial estándar. El objetivo es identificar que parte de estos *slacks* se explica por el efecto de los inputs no controlables y que parte ésta asociada con la propia ineficiencia técnica de los productores. Esta descomposición permite realizar ajustes directos sobre los valores de las variables (inputs y outputs controlables), descontando de esta manera efectos de los factores exógenos. La última etapa, coincidente en todas las alternativas, consiste en realizar un nuevo *DEA* incluyendo los valores corregidos de las variables en función de la dotación de inputs no controlables de cada *DMU*. Recogiendo los índices de eficiencia estimados lo concerniente al desempeño de las *DMUs*.

Bajo este tipo de enfoque, se distingue entre dos tipos de modelos, los no paramétricos y los semiparamétricos, según se utilice en la descomposición un nuevo *DEA* o una regresión.

6.3 La Productividad Total de los Factores: El Índice de Malmquist

El índice de productividad con orientación al input, definido inicialmente por Caves, Cristensen y Diewert (1982) tomo como referencia la tecnología del periodo inicial para medir y empleo del concepto de función de distancia para definirlo. En donde el Índice de Malmquist quedaría representado como:

$$IPM^t_j = \frac{D_j^t(y^{t+1}, x^{t+1})}{D_j^t(y^t, x^t)}$$

Donde $D_j^t(y^{t+1}, x^{t+1})$ sería la distancia input que la *DMU* *j* tendría en el periodo *t+1* respecto a la frontera eficiente el periodo *t* y $D_j^t(y^t, x^t)$ representaría la distancia que la *DMU* *j* tendría en el periodo *t* respecto a la frontera eficiente del mismo periodo.

Si el $IPM^t_j > 1$ la $D_j^t(y^t, x^t) > D_j^t(y^{t+1}, x^{t+1})$, por lo que observaría que la *DMU* *j* ha experimentado un incremento en la productividad entre el periodo *t* y *t+1*, dado que la

reducción proporcional que habría que realizar la DMU j para ubicarse en la frontera eficiente en el periodo t sería mayor en el periodo inicial t que el periodo final $t+1$.

Sin embargo, como se mencionó inicialmente, la frontera eficiente tomada como referencia para medir la distancia fue la del periodo inicial t , resultando esto consistente si el periodo que se analiza es corto o el sector analizado presenta escaso cambio técnico. En ese sentido, Caves et al. (1982) proponen que una forma de evitar los problemas derivados de la elección ad hoc de la tecnología de referencia sería el utilizar la media geométrica de ambos, de modo que el índice de Malmquist quedaría definido como:

$$M_j^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1}, y^t, x^t) = \left[\frac{D_j^t(y^{t+1}, x^{t+1})}{D_j^t(y^t, x^t)} \frac{D_j^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})}{D_j^{t+1}(y^t, x^t)} \right]^{1/2}$$

El índice de Malmquist representado como una media geométrica de las cuatro funciones de distancia, requiere relacionar el vector input output de un periodo con la tecnología existente en otro periodo. De este modo, en $D_j^t(y^t, x^t)$ y $D_j^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})$ se está comparando cada empresa con la frontera del período al que pertenece, mientras que en $D_j^{t+1}(y^t, x^t)$ y $D_j^t(y^{t+1}, x^{t+1})$ la observación pertenece a un período diferente del de la frontera con la cual se la está comparando y, por lo tanto, la función distancia puede tomar valores inferiores a la unidad. El índice de Malmquist, de esta manera, agrega estos efectos y mide el cambio en la productividad de una empresa, midiendo la distancia de la misma en dos periodos de tiempo t y $t+1$ respecto a la frontera tecnológica existente en t o en $t+1$.

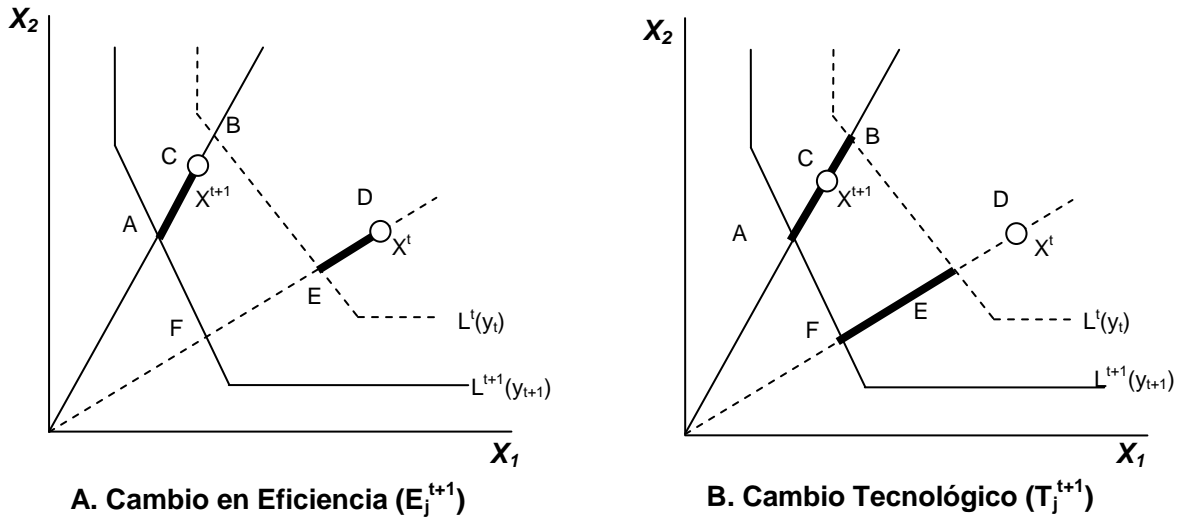
El cambio en la productividad medido a través del índice del Malmquist, que toma en cuenta la distancia hacia la frontera inicial y final se puede descomponer en cambios en la eficiencia técnica (catching-up), que representan la eficacia con la que se aplica el conocimiento tecnológico a la producción; y desplazamientos de la frontera de eficiencia (shift frontier), debidos a la mejora de la tecnología disponible (Nishimizu et al. 1982; Grifell et al. 1993). El cambio en la eficiencia técnica, como se vio anteriormente, se puede separar en cambio en la eficiencia pura y cambio en la eficiencia de escala, es decir cuánto de la eficiencia se debe a mejoras en la gestión y cuanto a un mejor ajuste del tamaño de la empresa a la demanda atendida.

El admitir la posibilidad de comportamientos ineficientes les permite descomponer el índice de la siguiente forma (Färe et al., 1990):

$$M_j^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1}, y^t, x^t) = \frac{D_j^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})}{D_j^t(y^t, x^t)} \left[\frac{D_j^t(y^{t+1}, x^{t+1})}{D_j^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})} \frac{D_j^t(y^{t+1}, x^{t+1})}{D_j^{t+1}(y^t, x^t)} \right]^{1/2} = ETT_j^{t+1} \cdot T_j^{t+1}$$

Donde ETT_j^{t+1} , mide el cambio en la eficiencia técnica (catching-up) y T_j^{t+1} mide el desplazamiento en la frontera de producción (frontier shift). En el Gráfico N° 14 se ilustra el caso de un único producto (y) y dos factores productivos (x_1, x_2). Se representan las dos isocuantas, $L_t(y_t)$ y $L_{t+1}(y_{t+1})$. Además se asume que $y^t = y^{t+1}$.

Gráfico N° 14: Cambio en Eficiencia Técnica y Cambio Tecnológico



En el Gráfico N° 14 se recoge la situación de una empresa que utiliza la combinación de factores X^t en el momento t (se encuentra en el punto D) y la combinación X^{t+1} en el momento $t+1$ (se encuentra en el punto C). En términos de las distancias ahí señaladas, el índice de Malmquist vendrá dado por:

$$M_j^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1}, y^t, x^t) = \frac{OE/OD}{OA/OC} \left[\frac{OA/OC}{OC/OB} \frac{OF/OD}{OE/OD} \right]^{1/2} = \frac{OE/OD}{OA/OC} \left[\frac{OA/OF}{OB/OE} \right]^{1/2} = ETT_j^{t+1} \cdot T_j^{t+1}$$

Si la empresa se encuentra en ambos períodos en sus fronteras respectivas, el primer término será igual a 1 y el cambio productivo experimentado entre los dos períodos vendrá explicado por el movimiento de la frontera. Al contrario, si el segundo término es 1, los cambios de productividad estimados vendrán explicados por los cambios en la eficiencia de la empresa en ambos períodos. En los demás casos, los cambios productivos reflejados en M_j^{t+1} serán una mezcla de cambios ambas.

Färe et al. (1994), proponen una descomposición mayor del índice al distinguir dentro del término que recoge el cambio en la eficiencia técnica, ETT_j^{t+1} , entre el cambio en la eficiencia técnica pura y cambios en la eficiencia de escala, es decir:

$$ETT_i^{t+1} = \frac{D_i^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})}{D_i^t(y^t, x^t)} = \left(\frac{D_i^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})}{D_i^t(y^t, x^t)} \right)_{VRS} \left(\frac{\frac{D_i^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})_{CRS}}{D_i^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})_{VRS}}}{\frac{D_i^t(y^t, x^t)_{CRS}}{D_i^t(y^t, x^t)_{VRS}}} \right) = ETP_i^{t+1} \times EE_i^{t+1}$$

Esta distinción permite contemplar aquellas situaciones en que una unidad productiva puede ser técnicamente eficiente, pero no se sitúa en la escala óptima de producción.

Como se acaba de mostrar para el cálculo de Índice de Malmquist, se requiere el cálculo de cuatro funciones de distancia con rendimientos a escala constante y dos con rendimientos a escala variables, las cuales se pueden obtener mediante la metodología del DEA explicada anteriormente, en donde:

$\left[D_i^t(y^t, x^t)_{CRS} \right]^{-1} = E_{i,t}^t$, que es la medida de eficiencia técnica de la DMU i, empleando los datos observados para la DMU i en el periodo t (subíndice) en relación con la frontera tecnológica del periodo t (supraíndice)

$\left[D_i^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})_{CRS} \right]^{-1} = E_{i,t+1}^{t+1}$, que es la medida de eficiencia técnica de la DMU i, empleando los datos observados para la DMU i en el periodo t+1 (subíndice) en relación con la frontera tecnológica del periodo t+1 (supraíndice)

$\left[D_i^t(y^{t+1}, x^{t+1})_{CRS} \right]^{-1} = E_{i,t+1}^t$, que es la medida de eficiencia técnica de la DMU i, empleando los datos observados para la DMU i en el periodo t+1 (subíndice) en relación con la frontera tecnológica del periodo t (supraíndice)

$\left[D_i^{t+1}(y^t, x^t)_{CRS} \right]^{-1} = E_{i,t}^{t+1}$, que es la medida de eficiencia técnica de la DMU i, empleando los datos observados para la DMU i en el periodo t (subíndice) en relación con la frontera tecnológica del periodo t+1 (supraíndice)

$\left[D_i^t(y^t, x^t)_{RVE} \right]^{-1} = E_{i,t}^t$, que es la medida de eficiencia técnica pura de la DMU i, empleando los datos observados para la DMU i en el periodo t (subíndice) en relación con la frontera tecnológica del periodo t (supraíndice)

$\left[D_i^{t+1} \left(y^{t+1}, x^{t+1} \right)_{RVE} \right]^{-1} = E_{i,t+1RVE}^{t+1}$, que es la medida de eficiencia técnica pura de la DMU i , empleando los datos observados para la DMU i en el periodo $t+1$ (subíndice) en relación con la frontera tecnológica del periodo $t+1$ (supraíndice)

6.4 Antecedentes de la Medición de Eficiencia y Productividad en la Industria Portuaria

Con respecto a la metodología empleada, la literatura no muestra un consenso para medir la eficiencia. Estas se distribuyen equitativamente entre los que realizan un análisis mediante un enfoque paramétrico, por medio de fronteras estocásticas (SFA), y uno de un enfoque no paramétrico, por medio del análisis de envolvente de datos (DEA). La decisión entre la elección de una u otra metodología está en función de los supuestos e hipótesis que cada uno contempla, de la que mejor representación de la tecnología portuaria y de los datos con que se cuenta para realizar el estudio.

La metodología más empleada, dada la naturaleza multidimensional del producto portuario, es el DEA y en el ámbito de las fronteras estocásticas las aplicaciones se reducen a una frontera de costos y en una menor medida las funciones de distancia. En ese sentido, a continuación se muestra una revisión de la literatura que emplea al DEA como metodología.

Los enfoques más utilizados dentro de la metodología no paramétrica (DEA) son el DEA-BCC y el DEA-CCR. Martínez-Budría et al. (1999), Pestana (2003) y Rios y Maçada (2006) utilizan el enfoque BCC consideran que la industria portuaria estaría mejor representada al considerar un tecnología con retornos a escala variables, de tal forma de recoger las economías de escala. Bonilla et al. (2002) y Tongzon (2001) emplean el CCR, dado que considera que la industria opera en la escala mínima eficiente. Ambos métodos son empleados y comparados por Poitras et al. (1996) Cullinane et al. (2004), Park y De (2004) y Wang y Cullinane (2006). Pestana y Athannasiou (2004); Cullinane et al. (2005-a y 2006); Cullinane et al. (2005-b) además compara los resultados con otra técnica de programación lineal: el Free Disposal Hull (FDH).

Martín (2002) emplea el modelo propuesto por Banker y Morey (1986), dado que se ajusta mejor a las hipótesis establecidas en el modelo, y calcula el índice de productividad total de los factores (PTF) de Malmquist para determinar los cambios de la productividad y los determinantes del mismo descomponiendo el índice en cambio tecnológico, cambio en eficiencia técnica y eficiencia de escala. Estache et al. (2004), por su parte, también identifica las fuentes determinantes de las ganancias en productividad, descomponiendo el cambio de la PTF en los componentes mencionados mediante el índice Malmquist.

Los estudios realizados sobre la medición de eficiencia y cambios en productividad en los puertos, bajo la metodología del DEA, tienen objetivos variados. Por un lado se tiene los que buscan establecer una relación entre la eficiencia y el tipo de propiedad y gestión de los puertos y otros que buscan establecer rankings de eficiencia y evolución del cambio en productividad, de tal forma de evaluar el impacto de los procesos de reforma portuaria sobre la eficiencia y el cambio en productividad.

Cullinane et al. (2005-a), con una muestra internacional de terminales portuarias, analizan la existencia de una relación entre la estructura de propiedad y eficiencia. Por su parte, Estache et al. (2004) buscan identificar las fuentes determinantes del incremento en la productividad que la reforma de 1993 tuvo sobre los puertos mexicanos, centrando el análisis en 11 autoridades portuarias (1996-1999) y realizando la descomposición del cambio de la PTF. Pestana (2003) empleando un DEA, analiza la eficiencia técnica y asignativa de cinco autoridades portuarias portuguesas (1999-2000) y estudia si los incentivos introducidos por la regulación portuguesa han incrementado dicha eficiencia. Pestana y Athanassiou (2004), con la finalidad de detectar los puertos capaces de ofrecer mejoras en su rendimiento en el marco de los objetivos de la política portuaria europea, realizan un ranking de autoridades portuarias portuguesas y griegas. Martín (2002) busca determinar si las reformas del sistema portuario español tuvieron un impacto positivo en la eficiencia técnica y los cambios en la productividad. Para ello emplean la metodología DEA a las 27 autoridades portuarias españolas durante el periodo 1990 a 1999 calculando el índice de productividad total de los factores de Malmquist y descomponiéndolo en cambio en eficiencia técnica y cambio tecnológico.

Martínez-Budría et al. (1999), tienen como objetivo analizar la eficiencia técnica a una muestra de 26 autoridades portuarias para el periodo de 1993 a 1997. Para ello emplean la metodología DEA a dicha muestra y, en busca de un análisis más riguroso, los autores agrupan a los puertos en cuatro clases, según su grado de complejidad. Poitras et al. (1996) utiliza la DEA para medir la eficiencia relativa de 23 puertos australianos e internacionales.

Los mismos objetivos buscan Bonilla et al. (2002), sin embargo, para obtener intervalos de confianza de los resultados de eficiencia encontrados, ellos aplican un análisis bootstrap. La muestra empleada en este caso consta de 23 autoridades portuarias durante los años 1995-1998.

Tongzon (2001) busca establecer un benchmark internacional de eficiencia en los puertos de contenedores. Para ello, realiza una comparación de eficiencia mediante el DEA. Dicho autor considera dentro de su muestra a un grupo de cuatro puertos australianos con doce puertos

internacionales para el año 1996. Por su lado, Cullinane et al. (2005-b) emplea una muestra internacional que contiene 57 terminales portuarios para comparar los resultados obtenidos bajo diferentes técnicas de programación lineal y Cullinane et al. (2006), realizan una comparación de los resultados obtenidos entre el DEA y el SFA. Rios y Maçada (2006) tienen como objetivo evaluar y clasificar la eficiencia de los contenedores de los países del MERCOSUR entre el año 2002 y 2004. Wang y Cullinane (2006) analizan el impacto de las medidas de eficiencia obtenida en los terminales de contenedores sobre la cadena logística.

Con respecto a las extensiones de los modelos DEA, dentro de la literatura se encontró evidencia de dos documentos. Una correspondiente a Cullinane et al. (2004), quienes aplicando el DEA windows analysis realizan un análisis dinámico de la eficiencia de terminales de contenedores. Por otro lado, se tiene el documento de Park y De (2004) quienes aplican un DEA en cuatro etapas: en busca de medir la productividad (etapa 1), rentabilidad (etapa 2), comercialización (etapa 3) y, finalmente, la eficiencia global (etapa 4) en los puertos. Pestana y Shunsuke (2008) que emplean el modelo DEA bajo la metodología de Simar y Wilson (2007), en donde en una primera etapa estiman el DEA en su versión estándar (CCR y BCC) para posteriormente mediante una metodología de doble bootstrap y una regresión truncada para obtener los intervalos de confianza y testear algunas variables que pueden ser determinantes en los niveles de eficiencia obtenidos en la primera etapa.

Por último, es necesario mencionar el documento de Roll y Hayuth (1993), quien realizó el primer intento de utilizar el DEA para medir la eficiencia portuaria. Si bien, esta aplicación era puramente teórica, ya que no hizo uso de los datos reales, debe ser considerado como uno de los pilares, ya que es el primer intento de aplicar dicha técnica en la medición de la eficiencia portuaria y el mostrar la utilidad de los índices de eficiencia para proponer vías de mejora de la eficiencia y para ejercer un control sobre la actividad de los operadores.

Por su parte Pestana y Shunsuke (2008), con una muestra de 39 puertos japonés (2003-2005), buscan como un primer objetivo establecer un ranking de eficiencia mediante varios modelos DEA (DEA-CCR, DEA-BCC Cross-Efficiency DEA y super-efficiency DEA)

En lo referente a la definición de producto, la literatura distingue el tipo de unidad de análisis que se realiza en el sector, dependiendo del servicio que se considere. Pudiendo ser el producto, por ejemplo, los buques remolcados, si se analiza la actividad de remolque, pudiendo medirse ésta en unidades físicas o en unidades de arqueo bruto (UAB). Por otro lado si la unidad analizada es una terminal especializado en contenedores, el producto a considerar podría estar en función de la mercancía que transportan (toneladas), al tamaño de los

contenedores (TEUs) o al número de los mismos (unidades). Si por el contrario tenemos un terminal multipropósito lo ideal sería el considerar en forma desagregada los tipos de productos movilizados, ya sean en carga fraccionada, granel líquido, granel sólido y carga contenedorizada. En cualquier caso, la mayoría de los trabajos que analizan terminales de contenedores consideran los contenedores como un output y emplean como variable de medida de dicho output los TEUs movilizados y los que analizan puertos multipropósito emplean como uno de los productos el total de toneladas movilizadas, dada la no disponibilidad de data desagregada.

Como se acaba de mencionar, en la literatura no existe consenso en las variables a considerar como producto, y aunque en la mayoría de los documentos de investigación se resalta la característica de que el sector portuario es multipropósito, no siempre se refleja ello en los outputs considerados. Debido a veces, a la disponibilidad de los datos (Estache et al. 2004;). Y en otros casos se procede a agregar diferentes modalidades de carga debido a la coherencia de los resultados obtenidos al considerarlos en forma desagregada. En esa línea, Tongzon (2001) si bien considera la naturaleza multiproductiva del sector portuario, opta finalmente por una medida simple de la producción, debido a que los resultados obtenidos al contemplar dos productos son poco coherentes.

En la medición del producto existen dos alternativas. Una de ellas considera al producto en términos de la cantidad medidas en unidades físicas de mercancía y otra en términos monetarios, es decir en función de los ingresos que reportan para las empresas portuarias. La alternativa más empleada es la que considera la medición en cantidad física y en la que la mayoría de las investigaciones reportadas emplean excepto la de Martínez-Budría et al., (1999) que mide uno de los productos en términos de facturación.

El carácter multiproducto de la actividad portuaria es destacado en la mayoría de los estudios que aplican la metodología no paramétrica DEA. Sin embargo, la definición de productos en muchos estudios es muy variada. Con respecto a los factores productivos, por el contrario existe un mayor consenso en emplear principalmente variables que reflejen el capital y el trabajo. Una revisión de las principales variables consideradas con input y output se puede apreciar en el Cuadro N° 11.

Por último, antes de brindar los principales resultados obtenidos en la literatura, es necesario precisar que el concepto de eficiencia considerado es medido en términos relativos y está en función de la muestra seleccionada para el estudio. En ese sentido, la inclusión o exclusión de uno o un grupo de puertos de la muestra podrían cambiar las medidas de eficiencia obtenidas e

incluso el ranking de las mismas. Pudiendo, una empresa que en un entorno nacional considerada altamente eficiente, sea menos eficiente si se la considera en un marco internacional. De esta manera, los resultados obtenidos en los diferentes estudios, resultan no comparables entre sí, dado que o bien analizan diferentes países o incluso al analizar un mismo país existe un descalce temporal que no permite comparación.

Una conclusión general que han mostrado los diferentes estudios es que ha existido una mejora en los terminales y autoridades portuarias en lo referente a la eficiencia, productividad o introducción de progreso tecnológico. Sin embargo no existe resultados concluyentes respecto a si el tipo de propiedad, sea pública o privada es un factor determinante de la eficiencia. Asimismo los estudios no muestran unanimidad entre la relación existente entre la eficiencia y el tamaño del puerto.

Cullinane et al. (2005-a) no encuentran suficiente evidencia entre la existencia de una relación entre eficiencia y privatización. Por su parte, Cullinane et al. (2006), encuentran que en promedio la eficiencia de las terminales en puertos considerados como “hub” es mayor que el de las terminales en puertos feeder. Sin embargo también encontraron la existencia de una gran dispersión dentro de cada grupo. Por otro lado, sus resultados no consideran que las terminales pequeñas sean menos eficientes que las grandes. Por el contrario afirman que la gran competencia entre pequeñas terminales dentro de un puerto, les empuja a ser más eficientes. Asimismo, Cullinane et al. (2004) encuentran que la eficiencia de las terminales no está influida por su tamaño. Otro resultado hallado es que la mayoría de los puertos exhiben rendimientos constantes de escala, lo que conlleva a que la escala de producción no es la principal fuente de ineficiencia. Cullinane et al (2006) encuentra evidencia de que los puertos con una mayor participación privada, a excepción de Singapur son los más eficientes.

Pestana y Shunsuke (2008) encuentran que en la eficiencia de los puertos considerados como hub es mayor que el de los otros puertos que adoptan otra estrategia. Asimismo ellos concluyen que los puertos que se encuentran en la frontera podrían ser considerados como puntos de referencia y los administradores del puerto podrían tomar como referencia las prácticas empleadas en las terminales para mejorar su eficiencia.

Estache et al. (2004), concluyen que el proceso de reformas realizadas generan ciertos incentivos al operador a incrementar su eficiencia e introducir progreso tecnológico. Martín (2002) obtiene como resultados que luego de la reforma portuaria de la década de los 90, las autoridades portuarias españolas tuvieron avances en la productividad, influenciados principalmente por el progreso técnico, y las mejoras en la eficiencia técnica.

Pestana (2003) concluye que la reforma emprendida por las autoridades portuguesas ha llevado a los puertos a situarse sobre la frontera eficiente. El Puerto de Aveiro representa una excepción al resultado anterior, por lo que propone que la autoridad marítima debe establecer mecanismos de inspección que proporcionen incentivos más explícitos para mejorar la eficiencia. Sin embargo, es preciso tomar los resultados con precaución dado el limitado tamaño de la muestra, tal como el mismo autor reconoce. Pestana y Athanassiou (2004) admiten el mismo problema en su estudio, por lo que sus conclusiones son también limitadas.

En busca de obtener una relación entre el tamaño del puerto y los niveles de eficiencia Martínez-Budría et al. (1999) consideran 3 grupos homogéneos de las 26 autoridades portuarias españolas que tienen como muestra, teniendo en cuenta el tamaño del puerto y la composición de los productos. Los resultados obtenidos muestran que los puertos de mayor tamaño son los de mayor eficiencia y asimismo los que registran el mayor crecimiento de eficiencia. En segundo lugar, con respecto al nivel de eficiencia, se encuentran los puertos más pequeños, seguido luego por los puertos medianos. Sin embargo, estos últimos han incrementado sus niveles de eficiencia en el periodo analizado. Wang y Cullinane (2006), encuentran por su parte que la mayoría de los terminales que producen a gran escala son asociados con elevadas medidas de eficiencia.

Cullinane et al. (2006), por su parte, encuentran que el promedio la eficiencia estimada mediante SFA (a excepción del modelo basado en la distribución exponencial) es mayor que la que se deriva del DEA. Sin embargo el ranking generado por ambos métodos es muy similar.

Park y De (2004) concluyen que su estudio puede ser visto como un punto de partida para la aplicación del DEA en cuatro etapas, que proponen como una extensión apropiada al DEA tradicional. Plantean esta metodología como una alternativa para analizar la eficiencia global en sus múltiples dimensiones: productividad, rentabilidad y comercialización, de manera que se puedan tomar las decisiones correctas para mejorar cada una de ellas.

Rios y Maçada (2006) obtienen como resultados que un 75% de los terminales resultaron estar en la frontera eficiente en el año 2002. Sin embargo esta cifra se redujo en los años siguiente alcanzando sólo el 65% en el 2004. Asimismo los autores concluyeron que los terminales que se encuentran en la frontera podrían ser considerados como puntos de referencia y los administradores del puerto podrían tomar como referencia las prácticas empleadas en las terminales para mejorar su eficiencia.

A continuación se muestra un resumen de la principal literatura que emplea la metodología DEA como instrumento de análisis en la medición de productividad y eficiencia en el sector portuario.

Cuadro Nº 11: Medidas de eficiencia y productividad en el sector portuario aplicando la metodología DEA

Autores	Dominio	Datos	DMUs	Insumos	Productos	Modelo
Roll y Hayuth (1993)	Hipotéticos	Corte Transversal	20	Tamaño de la fuerza laboral Inversión anual por puerto La uniformidad de las instalaciones y de carga	Rendimiento de contenedores Nivel de Servicio Satisfacción del usuario Número de buques que arriban al puerto	DEA-CCR
Poitras et al. (1996)	Australia e Internacional	Corte Transversal	23	Mix de contenedores de 20 y 40 pies Retraso promedio en estiba Tiempo de atraque y tiempo de trabajo bruto Número de contenedores levantados por hora por la grúa de muelle Número de grúas pórtico Número de buques recalados Promedio de carga de contenedores por la Autoridad portuaria	TEUs por hora Número de contenedores por año	DEA-CCR DEA-BCC
Martinez-Budría et al. (1999)	España	Panel de datos (1993-1997)	26	Salario de los trabajadores Gastos de depreciación Gastos diversos	Total de carga movilizada a través de los muelles	DEA-BCC
Tongzon (2001)	Australia	Corte Transversal (1996)	16	Número de trabajadores Número de grúas Número de contenedores Número de remolcadores Área del terminal Tiempo de espera	Número de buques que arriban al puertos Rendimiento de contenedores	DEA-CCR
Martín (2002)	España	Panel de datos (1990-1999)	27	Salario promedio de los trabajadores Metros de Muelle Superficie de depósitos Gasto en Materiales	Granel sólido Mercadería general	DEA-BM
Bonilla et al. (2002)	España	Panel de datos (1995-1998)	26	Número de equipos disponibles	Granel sólido Granel líquido Mercadería general	DEA-CCR
Pestana (2003)	Portugal	Panel de datos (1999-2000)	5	Número de trabajadores Valor contable de activos	Número de buques Movimiento de mercancías Arqueo bruto Cuota de mercado Ruptura de carga a granel Carga en contenedores Tráfico Ro-Ro Graneles sólidos Graneles líquidos Ingresos netos	DEA-CCR DEA-BCC

Cullinane et al. (2004)	Internacional	Panel de datos (1992-1999)	25	Longitud total del muelle Área del terminal Número de grúas pórtico de muelle Grúas de patio pórtico Carretillas puente	Contenedores	DEA-CCR DEA-BCC
Estache et al. (2004)	México	Panel de datos (1996-1999)	11	Número de trabajadores Tamaño de muelle	Movimiento de mercancías	DEA-Malmquist
Park y De (2004)	Corea	Corte Trasversal (1999)	12	La capacidad de atraque La capacidad de manipulación de carga Rentabilidad,, ingresos rendimiento de carga, el número de buques llamadas Comercialización Ingresos, rendimiento global La capacidad de atraque La capacidad de manipulación de carga	Productividad Rendimiento de carga Número de buques Rentabilidad Ingresos Comercialización Rendimiento global Satisfacción del cliente	DEA-CCR DEA-BCC
Pestana y Athanasios (2004)	Grecia y Portugal	Panel de datos (1998-2000)	6	Número de trabajadores Valor contable de activos	Número de buques Movimiento de carga Total de carga movilizada Contenedores	DEA-CCR DEA-BCC
Cullinane et al. (2005-a)	Internacional	Panel de datos (1992-1999)	30	Longitud del terminal Área del terminal Número de grúas pórtico (de muelle, de patio y de llevada)	Rendimiento de contenedor	DEA-CCR DEA-BCC
Cullinane et al. (2005-b)	Internacional	Corte Trasversal (2001)	57	Longitud del terminal Área del terminal Número de grúas pórtico (de muelle, de patio y de llevada)	Rendimiento de contenedor	DEA-CCR DEA-BCC DEA-FHD
Cullinane et al. (2006)	Internacional	Corte Trasversal (2001)	57	Longitud del terminal Área del terminal Número de grúas pórtico (de muelle, de patio y de llevada)	Rendimiento de contenedor	DEA-CCR DEA-BCC
Wang y Cullinane (2006)	Europa	Corte Trasversal (2003)	104	Longitud del terminal Área del terminal Costo de los equipos	Rendimiento de contenedor	DEA-CCR DEA-BCC
Rios y Maçada (2006)	Brazil, Argentina y Uruguay	Panel de datos (2002-2004)	23	Número de grúas Número de muelles Número de trabajadores Área del terminal Cantidad de equipos	TEUS movilizados Promedio del número de contenedores por hora por buque	DEA-BCC
Pestana y Shunsuke (2008)	Japón	Panel de datos (2003-2005)	39	Número de trabajadores Número de grúas	Número de buques Graneles (líquidos y sólidos) Contenedores	DEA-CCR, DEA- BCC , Cross- Efficiency DEA, super-efficiency DEA y modelo tobit

VII. Hipotesis

7.1 Hipótesis Principal

- La mejora en la productividad de los puertos regionales del Perú ha sido influenciada principalmente por incremento en la demanda de servicios portuarios, dada la característica de demanda derivada de la infraestructura de transporte. Y los puertos de mayor tamaño como el Puerto del Callao, Valparaíso y San Antonio son los que presentan un mayor nivel de eficiencia técnica.

7.2 Hipótesis Específicas

- Los puertos regionales del Perú con mayor eficiencia técnica son los puertos del Callao, Paíta y Matarani, los cuales a la fecha se encuentran o están en proceso de concesión. Y en el caso de los puertos Chilenos son el de San Antonio Terminal Internacional y Terminal del Pacífico Sur de Valparaíso.
- Los puertos Chilenos considerados en la muestra presentan un incremento en la productividad influenciado por mayores inversiones en tecnología, mientras que los puertos peruanos no.
- El tipo de gestión, el tamaño y la ubicación del puerto son las variables ambientales que explican la diferencia entre los niveles de eficiencia técnica obtenidos. Asimismo, los indicadores físicos de los puertos como tiempo de rotación y grado de ocupabilidad son variables determinantes del nivel de eficiencia técnica obtenido.

VIII. Marco Metodológico

La investigación se encuentra estructurada en dos partes. La primera abordará el tema de la medición de eficiencia técnica y de la productividad total de los factores. Para ello, primeramente, se empleará la metodología DEA, que estima simultáneamente fronteras de producción con rendimientos constantes a escala y variables a escala (Coelli et al., 2003). Posteriormente, se calculará la productividad total de los Factores mediante el Índice de Malmquist, el cual realiza la descomposición del cambio en la productividad en cambio tecnológico, cambio en eficiencia de escala y cambio en eficiencia técnica pura. Para dichos cálculos se empleó el programa MATLAB²⁵.

La segunda parte consistirá en contrastar la hipótesis de si el tamaño del puerto, la ubicación geográfica, el tipo de administración explican cierta diferencia de eficiencia entre las empresas. Asimismo, si los indicadores físicos empleados usualmente como tiempo de rotación y grado de ocupabilidad son variables determinantes del nivel de eficiencia obtenido. Para ello, se aplica un análisis de segunda etapa mediante el test no paramétrico de Mann-Whitney y un modelo de regresión Tobit con datos de panel²⁶.

Para estimar las medidas de eficiencia de cada observación, usaremos el método DEA ampliado de Charnes et al. (1978), cuya técnica nos permite la inclusión de múltiples inputs y outputs, teniendo una tecnología con retornos variables a escala.

Los outputs a considerar son Carga contenedorizada (medido en TEUs), carga no contenedorizada (medido en TM), con respecto a los inputs se tomará Trabajadores (Nº) y stock de activo fijo neto como una variable que refleja las inversiones en capital. Esta información será recogida de instituciones como OSITRAN, MTC, ENAPU S.A. y TISUR.

La medición de la eficiencia técnica y los cambios en la productividad total de los factores contará con dos escenarios. Uno incluirá a los puertos peruanos, realizando una primera medición, y otra en donde incorporé a los principales puertos de Chile.

En el caso de los puertos peruanos, se consideraron aquellos que son de atraque directo, tales como Paita, Salaverry, Gral San Martín, Chimbote, Ilo, que se encuentran administradas por la Empresa Nacional de Puertos S.A. (ENAPU S.A.), y el puerto de Matarani, cuya administración posee la empresa privada Terminal Internacional del Sur (TISUR). No se tomó en consideración a los puertos de lanchoraje como Huacho, Supe y Chicama, al igual que los

²⁵ Ver Anexo V

²⁶ Se empleó el comando *xttobit* del programa Stata versión 11

puertos fluviales ubicados en Yurimaguas, Iquitos y Puerto Maldonado, dado que dentro de los requisitos de los modelos DEA, está que las unidades comparadas sean relativamente homogéneas, es decir que no pueden existir grandes disparidades en términos de inputs empleados y output producidos, tal como se mencionó en la sección 5.2. Sin embargo, se tomó en consideración el puerto del Callao, pese a que existe gran diferencia entre inputs empleados y output producidos²⁷, ya que al incluir los puertos chilenos se tendrá más DMU de similar tamaño para fines comparativos.

En lo que respecta a los puertos Chilenos, se consideró los principales puertos más representativos de Chile como San Antonio Terminal Internacional (STI) y Terminal Pacífico Sur Valparaíso (TPS). Asimismo aquellos que se encuentran ubicados al norte de Chile como el puerto de Angamos, Arica Terminal Internacional (ATI), Iquique Terminal Internacional (ITI), San Vicente, y Terminal Portuario de Arica (TPA).

Los datos a emplear en el caso de los puertos de Perú fueron obtenidos de las Memorias Anuales de ENAPU y TISUR. Asimismo, de los Estados Financieros auditados de los puertos y los reportes de contabilidad regulatoria proporcionados por el Organismo Regulador de la Inversión en Infraestructura de Transporte de Uso Público (OSITRAN) desde el año 2002 al 2009. Por su parte, los datos de los puertos chilenos se obtuvieron de las memorias anuales de cada uno de ellos. Sin embargo, los datos disponibles sólo se encontraron para el periodo 2004 al 2009.

El Modelo Data Envelopment Analysis (DEA) y el cálculo del Índice de Malmquist requieren como insumos las variables correspondientes a los inputs y outputs, siendo la elección de estas variables parte fundamental en el empleo dicha metodología, por lo que una incorrecta elección de éstas nos podría generar resultados sesgados (Panayides et al. 2009).

La revisión de la literatura realizada en la sección 6.4 muestra que no existe un consenso con respecto a las variables a considerar como output y como input. Aunque en la mayoría de los documentos de investigación se destaca la característica de que el sector portuario es multipropósito, y no siempre se refleja ello en los outputs considerados.

Dado que los puertos requieren contar con cierto tipo de tecnología para brindar el servicio a los diferentes tipos de carga (carga fraccionada, contenedorizada, rodante, granel líquido y sólido) lo ideal sería tener una medida desagregada según los tipos de carga. Sin embargo, puesto que dentro de la muestra se tiene ciertos puertos que se especializan en algún tipo de

²⁷ Ver sección IV Puertos públicos de atraque directo en el Perú

carga, dependiendo de su ubicación geográfica y del grado de cautividad que posee su demanda, tenemos periodos en los cuales la movilización de algún tipo de carga es mínima e incluso en algunos casos cero, lo que implicaría que se catalogue dichas empresas como menos eficientes²⁸ por el hecho de no movilizar algún tipo de carga, lo cual no necesariamente es cierto.

Ante lo mencionado, se tuvo la necesidad de realizar una agregación de las variables a emplear en el modelo de tal forma de rescatar una parte de las economías de ámbito que pueden existir en el puerto. Los outputs a emplear son: tráfico de carga contenedorizada y carga no contenedorizada, medidos en TEU's y Toneladas respectivamente²⁹.

Por otro lado, estudios como los de Roll y Hayuth (1993), Tongzon (2001), Pestana (2003), Park y De (2004), Pestana y Athanassiou (2004) y Pestana y Shunsuke (2008) incorporan como una variable output el número de naves o buques, tratando de tener una medida del número de clientes. Sin embargo, dado que la industria de transporte marítimo ha tenido importantes cambios en los últimos años respecto al tamaño de los buques y al proceso de contenerización de la carga, el considerar el número de naves como una variable output, podría subestimar la eficiencia de un puerto, si es que durante el periodo analizado, se hallan recalado en éste naves de mayor tamaño que transporten un mayor volumen de carga³⁰.

En ese sentido, la investigación se centrará en considerar como variables output sólo a la carga contenedorizada (TEUs) y la carga no contenedorizada (TM)

Los estadísticos descriptivos de dichas variables se muestran en el Cuadro N° 12, Cuadro N° 13, Cuadro N° 14 y Cuadro N° 15.

Cuadro N° 12: Perú - Carga Contenedorizada (TEU's)

Estadísticos	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Promedio	82,854	90,498	116,230	143,330	157,020	169,992	201,736	177,514
Máximo	521,382	553,138	725,490	887,035	938,119	1,022,246	1,203,315	1,089,838
Mínimo	0	0	0	0	23	680	381	17
Var-est	194,255	205,522	270,313	329,384	346,260	377,639	444,255	404,308

Fuente: TISUR, ENAPU y OSITRAN.

Elaboración: Propia

²⁸ Según la metodología a emplear, la cual mide una distancia hacia la frontera eficiente.

²⁹ Dicha desagregación resulta consistente con el proceso de contenedorización, dado que en los últimos años los puertos en todo el mundo han tenido una tendencia a movilizar cada vez en mayores proporciones su carga por medio de contenedores (Ver sección 3.9 Cambios en la industria de transporte en las últimas décadas).

³⁰ Ver sección 3.9 Cambios en la industria de transporte en las últimas décadas

Cuadro Nº 13: Chile - Carga Contenedorizada (TEU's)

Estadísticos	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Promedio	185,926	214,250	261,540	314,190	374,891	318,820
Máximo	517,856	610,547	577,366	808,503	926,656	665,000
Mínimo	34,410	31,039	40,066	68,714	76,569	80,082
Var-est	187,033	212,517	238,214	288,088	335,985	266,369

Fuente: Puerto Angamos, ATI, ITI, San Vicente, STI, TPA y TPS

Elaboración: Propia

Cuadro Nº 14: Perú - Carga No Contenedorizada (TM)

Estadísticos	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Promedio	765,365	1,112,634	1,038,723	1,095,061	1,224,516	1,407,540	1,754,315	1,462,003
Máximo	4,930,644	7,185,613	6,665,030	6,833,814	7,418,696	8,591,359	10,737,950	9,181,538
Mínimo	0	0	0	0	511	4,799	4,443	146
Var-est	1,841,771	2,684,263	2,489,531	2,539,992	2,742,800	3,178,000	3,975,025	3,412,422

Fuente: TISUR, ENAPU y OSITRAN.

Elaboración: Propia

Cuadro Nº 15: Chile - Carga No Contenedorizada (TM)

Estadísticos	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Promedio	1,218,052	1,147,076	1,138,726	1,208,873	1,310,789	1,097,353
Máximo	1,840,413	1,789,981	2,160,155	2,890,455	2,967,371	2,377,416
Mínimo	407,461	423,448	388,398	496,421	497,500	321,219
Var-est	575,103	518,285	605,213	841,507	906,416	780,347

Fuente: Puerto Angamos, ATI, ITI, San Vicente, STI, TPA y TPS

Elaboración: Propia

En lo que respecta a las variables relacionadas al input, diversos autores emplean dos variables. Una correspondiente al input de capital y otra al input de trabajo.

Con respecto a la variable capital, la literatura no muestra consenso respecto a la aproximación de dicha variable. Por un lado, tenemos el empleo de variables físicas como número de grúas, remolcadores, amarraderos (Tongzon 2001), longitud de muelle, área del terminal, número de grúas pórtico de muelle, número de grúas pórtico de patio, número de montacargas (Cullinane et al. 2004; Cullinane et al. 2005; Cullinane et al. 2006) longitud del muelle, número de grúas pórtico (Tongzon 2005), entre otros. Por otro lado, existen investigaciones cuya medición de la variable capital emplean los estados financieros de las empresas como el valor de activos de la empresa (Barros, 2003; Barros y Athanassiou, 2004), costo de los equipos (Wang y Cullinane 2006), gastos en depreciación (Martinez-Budria et al. 1999), entre otros.

En ese sentido, el tratamiento de la variable capital en estos estudios no es consistente con la teoría de la producción (Solow, 1957; Jorgerson et al., 1967; Hulten, 2000; Diewert y Schereyer, 2006; Baldwin y Gu, 2007), la cual considera que los flujos de servicios provistos entre un periodo de tiempo representaría una medición adecuada del input capital.

De Rus et al. (2003) argumentan que en la estimación del factor capital, el procedimiento más utilizado es el método de inventario perpetuo, el cual plantea que las inversiones realizadas por la empresa se van acumulando en el tiempo para convertirse en unidades monetarias constantes, mediante un índice de precios para bienes de capital descontados por una tasa de depreciación.

En relación a la variable trabajo existe un mayor consenso en utilizar el número de trabajadores como medición del input trabajo, sin embargo existen otros autores como Martinez – Budria et al. (1999), Pestana (2003a) quienes aproximan esta variable al costo de la mano de obra.

La presente investigación, ha tomado como variable relacionada al input capital el stock de activos fijos netos (valores constantes con base en el año 2000) y el número de trabajadores como *proxi* de la variable input trabajo. El Cuadro N° 16, Cuadro N° 17, Cuadro N° 18 y Cuadro N° 19, a continuación, muestran los estadísticos descriptivos de los inputs empleados en la presente investigación.

Cuadro N° 16: Perú - Activo Fijo Neto a Valores Constantes

Estadísticos	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Promedio	7,772	7,224	7,453	7,913	9,059	9,981	10,036	12,691
Máximo	31,554	27,383	25,846	28,373	26,660	33,523	35,314	51,540
Mínimo	2,793	2,305	2,224	2,258	2,090	1,980	1,985	2,001
Var-est	10,507	8,982	8,285	9,232	9,198	11,537	12,158	17,946

Fuente: TISUR, ENAPU y OSITRAN.

Elaboración: Propia

Cuadro N° 17: Chile - Activo Fijo Neto a Valores Constantes

Estadísticos	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Promedio	11,858	16,782	20,218	21,806	26,735	32,175
Máximo	28,361	35,114	47,557	53,429	57,013	67,507
Mínimo	832	1,385	940	574	2,864	2,805
Var-est	9,494	10,624	14,271	16,502	16,453	19,502

Fuente: Puerto Angamos, ATI, ITI, San Vicente, STI, TPA y TPS

Elaboración: Propia

Cuadro Nº 18: Perú - Número de Trabajadores

Estadísticos	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Promedio	157	151	150	152	154	167	184	180
Máximo	763	773	763	779	777	861	916	883
Mínimo	33	34	33	33	32	35	41	40
Var-est	268	275	271	277	276	307	325	313

Fuente: TISUR, ENAPU y OSITRAN.

Elaboración: Propia

Cuadro Nº 19: Chile - Número de Trabajadores

Estadísticos	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Promedio	171	195	234	254	296	280
Máximo	428	457	548	592	665	563
Mínimo	22	23	23	28	37	39
Var-est	136	134	164	176	195	163

Fuente: Puerto Angamos, ATI, ITI, San Vicente, STI, TPA y TPS

Elaboración: Propia

IX. Indicadores de Eficiencia y Productividad Parcial

Estos indicadores, son los más empleados y se calculan con el objetivo de evaluar el funcionamiento de los puertos, la gran ventaja que poseen es que son sencillos, tanto en su cálculo como en su interpretación, sin embargo, poseen la gran desventaja de ser parciales.

Se pueden separar en 3 grandes grupos: a) Indicadores Físicos, b) Indicadores de productividad de los factores e c) Indicadores económico – financieros.

a) Indicadores Físicos

Estos indicadores nos brindan la idea de la velocidad con que los buques son atendidos en los puertos. Entre ellos tenemos a los siguientes indicadores:

- Tiempo de rotación: mide el tiempo total que demora un buque en el puerto, desde que ingresa, hasta que se retira.
- Tasa de espera: mide el tiempo que demora un buque esperando en ser atracado, hasta que termina de ser atracado.
- Tasa de ocupación de muelles: mide el tiempo que los muelles se encuentran ocupados.

Con respecto a la muestra analizada, se contó con información de los indicadores Físicos de Tiempo de rotación y Tasa de ocupación de Muelles para todos los puertos de la muestra a

excepción del Puerto de Angamos y San Vicente. El Cuadro N° 20 y 21 muestran en detalle dichos indicadores

Cuadro N° 20: Tiempo de Rotación (Hrs/Nave)

Puerto	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Promedio
Chimbote	94.3	119.1	129.9	111.5	92.0	65.0	81.6	106.5	100.0
Ilo	37.9	29.0	52.4	55.7	47.0	37.9	41.2	37.6	42.3
Matarani	34.1	35.2	31.1	29.1	31.0	29.3	26.1	24.3	30.0
Paíta	19.7	18.0	21.0	17.6	21.0	18.8	21.8	18.2	19.5
Salaverry	48.7	52.0	50.5	33.7	33.3	35.5	47.0	43.6	43.0
Gral. San Martín	49.2	46.3	49.4	54.1	52.8	49.8	52.7	54.0	51.0
Callao	27.2	25.9	26.9	27.2	28.0	34.9	36.8	31.1	29.7
TPA	n.d.	n.d.	21.1	24.9	22.0	23.8	24.6	21.3	22.9
ITI	n.d.	n.d.	18.9	18.2	17.5	15.9	17.2	13.8	16.9
ATI	n.d.	n.d.	36.7	33.0	30.9	33.1	35.4	31.9	33.5
TPS	n.d.	n.d.	19.6	25.7	24.0	21.2	22.1	17.6	21.7
STI	n.d.	n.d.	31.2	26.4	30.8	36.8	36.2	26.9	31.4
Promedio	44.4	46.5	40.7	38.1	35.9	33.5	36.9	35.6	38.9

Fuente: ENAPU, TISUR, Puerto Angamos, ATI, ITI, San Vicente, STI, TPA y TPS

Elaboración: Propia

Cuadro N° 21: Tasa de ocupación de muelles (%)

Puerto	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Promedio
Chimbote	24.8	24.5	44.4	35.6	18.0	16.0	19.5	24.9	26.0
Ilo	17.5	8.6	11.4	10.6	13.0	11.9	19.2	9.2	12.7
Matarani	33.4	32.6	27.6	29.8	37.0	37.8	32.1	33.8	33.0
Paíta	19.2	18.0	20.1	17.8	21.0	15.9	21.4	16.3	18.7
Salaverry	17.4	21.7	17.8	15.3	16.6	19.3	25.8	23.1	19.6
Gral. San Martín	18.1	14.7	12.2	14.7	12.7	18.3	21.6	26.9	17.4
Callao	38.8	34.5	35.1	39.4	42.0	50.8	61.8	58.7	45.1
TPA	n.d.	n.d.	9.1	10.3	9.5	10.0	11.3	9.7	10.0
ITI	n.d.	n.d.	26.2	32.6	36.2	36.4	39.3	28.6	33.2
ATI	n.d.	n.d.	30.6	27.1	26.6	28.5	32.1	27.0	28.7
TPS	n.d.	n.d.	44.1	42.0	42.7	37.9	40.6	28.9	39.4
STI	n.d.	n.d.	66.2	64.3	75.1	90.1	99.3	81.5	79.4
Promedio	24.1	21.7	20.7	21.3	23.7	25.7	30.3	28.0	24.4

Fuente: ENAPU, TISUR, Puerto Angamos, ATI, ITI, San Vicente, STI, TPA y TPS

Elaboración: Propia

b) Indicadores de Productividad de Factores

Estos indicadores intentan brindar una idea de la productividad parcial de los factores de producción.

- Toneladas por grupo de trabajadores – hora o toneladas por trabajador – hora: mide la productividad parcial del factor trabajo.

- Toneladas por grúa – hora: mide la productividad parcial del factor capital.
- Toneladas por punto de amarre o por metro lineal de muelle: mide la productividad del puerto en el uso de la infraestructura.

c) Indicadores Económico – Financieros

A los cuales se puede llegar a partir de los estados financieros y su relación con la actividad portuaria.

- Precio por TEU: que nos permitiría comparar la competitividad del terminal con respecto a otros puertos o terminales.

Estos indicadores nos pueden brindar mucha información, servir para el monitoreo continuo de los puertos y encontrar posibles deficiencias en la cadena logística del transporte; sin embargo, su principal desventaja es que son indicadores parciales, mostrando la relación entre un producto y un solo insumo, “Por tanto, no permite analizar la contribución conjunta de todos los inputs a la producción, ni tratan de manera aceptable los procesos multiproductos”, Gonzales y Trujillo (2005).

Como ya se mencionó los puertos poseen la característica de ser multiproducto (o multiservicio), por lo que la utilización de indicadores parciales no se ajustaría a las características de los puertos. Como alternativa de solución de este problema tenemos a la Productividad Total de Factores (PTF).

En los siguientes cuadros se muestra el ranking de las productividades parciales de cada output con cada input para todos los puertos de uso Público en el Perú.

En el Cuadro N° 22, Cuadro N° 23 , Cuadro N° 24 y Cuadro N° 25 se muestran la productividad parcial del total de carga en tránsito movilizadora en Toneladas Métricas (TM), respecto al input capital y trabajo para los puertos del Perú y Chile. En ellos se observa que, para los puertos del Perú, el Terminal portuario de Gral. San Martín, en promedio, desde el 2002 al 2009 ha sido el que tuvo mayor productividad y los puertos con menor productividad son los de Chimbote e Ilo. Por su parte, con respecto a los puertos chilenos, el Puerto de Angamos es el que tuvo mayor productividad.

**Cuadro Nº 22: Perú - Productividad parcial del tráfico total movilizado respecto al capital
(TM / activo fijo neto)**

Puerto	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Promedio
Gral. San Martín	457	473	436	544	547	504	777	583	540
Callao	384	495	502	484	552	489	539	337	473
Paíta	205	217	238	236	253	270	332	234	248
Salaverry	227	248	177	199	224	245	244	289	232
Matarani	318	241	220	197	117	165	176	154	198
Chimbote	69	79	136	121	55	40	66	70	80
Ilo	83	48	55	45	62	80	125	65	70
Promedio	249	257	252	261	259	256	323	247	263

Fuente: TISUR, ENAPU y OSITRAN.

Elaboración: Propia

**Cuadro Nº 23: Chile - Productividad parcial del tráfico total movilizado respecto al capital
(TM / activo fijo neto)**

Puerto	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Promedio
Angamos	652	912	1,259	2,431	543	594	785
TPS	395	257	229	237	216	149	222
San Vicente	149	176	215	204	161	144	170
STI	232	195	128	114	113	98	131
ATI	192	83	87	89	81	69	89
TPA	1,167	126	83	104	57	38	72
ITI	105	64	69	79	76	54	71
Promedio	237	164	146	149	131	102	141

Fuente: Puerto Angamos, ATI, ITI, San Vicente, STI, TPA y TPS

Elaboración: Propia

**Cuadro Nº 24: Perú - Productividad parcial del tráfico total movilizado respecto al trabajo
(TM / número de trabajadores)**

Puerto	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Promedio
Gral. San Martín	31,504	27,124	23,546	31,478	30,006	25,663	35,921	28,885	29,266
Salaverry	10,557	23,292	24,643	27,509	30,773	34,132	29,277	34,600	26,848
Paíta	15,935	15,234	17,815	17,903	21,410	22,672	28,530	23,850	20,419
Matarani	17,322	18,091	17,947	18,091	18,756	24,277	19,582	17,368	18,929
Callao	15,875	17,529	17,010	17,633	18,947	19,053	20,791	19,680	18,315
Chimbote	9,365	9,756	17,376	16,248	7,509	4,864	5,277	5,887	9,535
Ilo	5,569	3,827	5,045	3,991	7,060	8,197	10,638	5,379	6,213
Promedio	15,161	16,407	17,626	18,979	19,209	19,837	21,431	19,378	18,504

Fuente: TISUR, ENAPU y OSITRAN.

Elaboración: Propia

Cuadro Nº 25: Chile - Productividad parcial del tráfico total movilizado respecto al trabajo (TM / número de trabajadores)

Puerto	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Promedio
Angamos	68,463	65,076	63,870	64,856	60,037	55,635	62,088
STI	34,514	40,098	35,080	31,575	33,994	27,912	33,377
TPS	23,399	22,103	23,861	27,385	27,949	20,779	24,407
ITI	12,866	10,569	10,169	11,265	11,531	9,221	10,781
ATI	15,687	11,458	8,655	9,521	7,875	7,599	9,425
San Vicente	7,202	7,622	8,059	8,854	10,618	10,493	8,974
TPA	15,102	8,551	8,804	9,319	7,920	8,106	8,963
Promedio	18,172	16,783	15,613	16,693	16,867	15,191	16,447

Fuente: Puerto Angamos, ATI, ITI, San Vicente, STI, TPA y TPS

Elaboración: Propia

Con respecto a los otros puertos no existe un consenso de cuál de ellos es más o menos productivo que otro. Por ejemplo, dentro de los puertos peruanos, el puerto del Callao se ubica en segundo lugar respecto a la productividad parcial del capital; no obstante, respecto al input trabajo, el terminal portuario de Salaverry se ubica en segundo lugar. Asimismo, en lo que respecta a los puertos chilenos TPS y San Vicente se ubican en segundo y tercer lugar en el ranking de productividad parcial del input capital respectivamente, mientras que en lo referente al input trabajo STI y TPS obtienen la segunda y tercera posición dentro de los puertos chilenos considerados.

Por otro lado, si consideramos el output en forma desagregada, en carga contenedorizada y carga no contenedorizada, nos encontramos con una mayor dificultad para saber cual puerto regional ha sido el más productivo, dado que las medidas de productividades parciales se incrementan y muchas de ellas no nos arrojan un resultado concluyente sobre el ranking de productividad

En el Cuadro Nº 26, Cuadro Nº 27, Cuadro Nº 28 y Cuadro Nº 29 se muestran las productividades parciales de los puertos del Perú. En él se observa a los puertos del Callao, Paita y Gral. San Martín son los que tienen mayor productividad, dependiendo que cual output e input se escoja para medir la productividad parcial.

Cuadro Nº 26: Perú - Productividad parcial del tráfico de carga contenedorizada respecto al capital (TEUS / activo fijo neto)

Puerto	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Promedio
Callao	16.5	20.2	28.1	31.3	35.2	30.5	34.1	21.1	27.1
Paíta	13.4	19.4	22.0	24.4	26.2	28.9	36.4	27.3	24.8
Ilo	1.9	1.7	0.0	0.4	4.1	6.2	10.0	2.6	3.4
Salaverry	0.0	0.0	0.0	1.7	3.3	3.1	2.5	0.4	1.4
Matarani	0.3	1.0	0.9	1.4	0.8	0.9	1.2	1.1	1.0
Chimbote	0.0	0.0	0.0	1.4	1.7	0.7	0.5	1.6	0.7
Gral. San Martín	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	0.0	0.1
Promedio	4.6	6.0	7.3	8.7	10.2	10.1	12.1	7.7	8.3

Fuente: TISUR, ENAPU y OSITRAN.

Elaboración: Propia

Cuadro Nº 27: Perú - Productividad parcial del tráfico de carga no contenedorizada respecto al capital (TM / activo fijo neto)

Puerto	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Promedio
Paíta	1,041	1,360	1,645	1,851	2,219	2,423	3,135	2,790	2,058
Callao	683	716	951	1,138	1,207	1,188	1,313	1,234	1,054
Ilo	126	133	2	38	474	629	846	216	308
Salaverry	0	2	2	240	449	425	303	46	183
Matarani	18	78	74	131	136	128	132	125	103
Chimbote	0	0	0	188	231	86	40	138	86
Gral. San Martín	0	0	0	0	1	17	9	0	3
Promedio	267	327	382	512	674	699	826	650	542

Fuente: TISUR, ENAPU y OSITRAN.

Elaboración: Propia

Cuadro Nº 28: Perú - Productividad parcial del tráfico de carga contenedorizada respecto al trabajo (TEUS/Número de Trabajadores)

Puerto	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Promedio
Gral. San Martín	457	472	436	544	546	501	775	583	539
Callao	228	232	244	243	274	233	235	159	231
Salaverry	227	247	177	187	201	221	227	278	221
Matarani	317	232	214	185	111	157	165	144	191
Paíta	107	74	86	63	68	69	80	67	77
Chimbote	69	79	136	113	46	34	62	60	75
Ilo	68	36	55	41	26	25	43	44	42
Promedio	210	196	193	197	182	177	227	191	197

Fuente: TISUR, ENAPU y OSITRAN.

Elaboración: Propia

Cuadro N° 29: Perú - Productividad parcial del tráfico de carga no contenedorizada respecto al trabajo (TM/Número de Trabajadores)

Puerto	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Promedio
Gral. San Martín	31,504	27,084	23,545	31,478	29,993	25,540	35,818	28,881	29,230
Salaverry	10,557	23,280	24,627	25,843	27,578	30,798	27,177	33,241	25,388
Matarani	17,295	17,418	17,461	17,046	17,794	23,162	18,330	16,253	18,095
Chimbote	9,363	9,756	17,376	15,090	6,209	4,072	4,969	5,066	8,987
Callao	9,413	8,229	8,271	8,864	9,403	9,071	9,072	9,286	8,951
Paíta	8,292	5,161	6,458	4,740	5,778	5,810	6,904	6,834	6,247
Ilo	4,532	2,887	5,041	3,654	2,960	2,563	3,658	3,663	3,620
Promedio	12,994	13,402	14,683	15,245	14,245	14,431	15,132	14,746	14,360

Fuente: TISUR, ENAPU y OSITRAN.

Elaboración: Propia

Con respecto a los puertos Chilenos, el Puerto de Angamos, y STI son los que tienen mayor productividad, dependiendo que cual output e input se escoja para medir la productividad parcial. Ello se puede apreciar en detalle en los Cuadro N° 30, Cuadro N° 31, Cuadro N° 32 y Cuadro N° 33.

Cuadro N° 30: Chile - Productividad parcial del tráfico de carga contenedorizada respecto al capital (TEUS / activo fijo neto)

Puerto	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Promedio
Angamos	15	19	34	92	19	22	24
TPS	26	18	19	22	20	13	19
San Vicente	10	14	19	19	14	11	14
STI	17	15	9	7	7	7	9
ITI	8	6	6	7	8	6	7
TPA	52	6	5	6	4	3	4
ATI	4	2	2	3	2	3	2
Promedio	14	11	10	11	10	8	10

Fuente: Puerto Angamos, ATI, ITI, San Vicente, STI, TPA y TPS

Elaboración: Propia

Cuadro Nº 31: Chile - Productividad parcial del tráfico de carga no contenedorizada respecto al capital (TM/ activo fijo neto)

Puerto	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Promedio
Angamos	538	828	1,088	1,965	438	484	654
ATI	142	54	61	53	46	33	55
San Vicente	63	61	48	37	31	32	41
STI	59	43	37	42	36	27	38
TPS	121	75	36	19	11	7	30
TPA	443	47	26	35	17	10	23
ITI	40	20	22	21	19	10	20
Promedio	93	58	45	43	34	26	43

Fuente: Puerto Angamos, ATI, ITI, San Vicente, STI, TPA y TPS

Elaboración: Propia

Cuadro Nº 32: Chile - Productividad parcial del tráfico de carga contenedorizada respecto al trabajo (TEUS/Número de Trabajadores)

Puerto	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Promedio
STI	2,454	3,008	2,513	2,022	2,232	2,112	2,352
TPS	1,535	1,507	1,957	2,488	2,603	1,858	2,049
Angamos	1,564	1,350	1,742	2,454	2,069	2,053	1,924
ITI	1,030	923	915	1,038	1,196	953	1,013
San Vicente	494	590	729	814	909	818	746
TPA	670	437	512	561	537	544	535
ATI	294	286	197	286	225	280	256
Promedio	1,088	1,100	1,117	1,239	1,267	1,137	1,168

Fuente: Puerto Angamos, ATI, ITI, San Vicente, STI, TPA y TPS

Elaboración: Propia

Cuadro Nº 33: Chile - Productividad parcial del tráfico de carga no contenedorizada respecto al trabajo (TEUS/Número de Trabajadores)

Puerto	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Promedio
ANGAMOS	56,490	59,089	55,197	52,436	48,419	45,369	51,747
STI	8,722	8,818	10,001	11,562	10,990	7,694	9,613
ATI	11,552	7,389	6,080	5,627	4,444	3,621	5,808
TPS	7,193	6,465	3,736	2,227	1,397	1,039	3,259
ITI	4,945	3,263	3,173	2,990	2,885	1,775	3,002
TPA	5,739	3,184	2,774	3,104	2,335	2,161	2,867
SAN VICENTE	3,020	2,627	1,806	1,621	2,048	2,313	2,185
Promedio	7,129	5,887	4,863	4,767	4,428	3,913	4,980

Fuente: Puerto Angamos, ATI, ITI, San Vicente, STI, TPA y TPS

Elaboración: Propia

Ante la seria limitación presentada por los indicadores parciales, nos vemos en la necesidad de obtener una medida del desempeño de los puertos que considere los outputs e inputs involucrados en la prestación del servicio de los gestores portuarios. En ese sentido, conocer la eficiencia técnica de los puertos los cambios en la Productividad Total de los Factores mediante la metodología de fronteras de eficiencia y el saber cuáles son las variables determinantes de la eficiencia y las causas del cambio en la PTF de los puertos en los últimos años será de suma importancia para la toma de decisiones gerenciales y de política económica.

X. Cálculo de las medidas de eficiencia técnica y los cambios en la Productividad Total de los Factores (PTF).

Las medidas de eficiencia técnica se calcularon por medio del modelo DEA-BCC y con respecto a los cambios en la PTF, se empleó el índice de Malmquist. Ambos modelos se calcularon considerando una orientación al input, dado que la infraestructura portuaria, en los puertos considerados, presentan características de monopolio natural.

10.1 Primer modelo: Puertos Peruanos

Como una primera aproximación se plantea el modelo DEA y del índice de Malmquist para los puertos regionales del Perú (Chimbote, Ilo, Matarani, Paita, Salaverry, Gral. San Martín y Callao) desde el año 2002 al 2009.

El Cuadro N° 34 nos muestra las medidas de eficiencia obtenidas mediante dicha metodología. En él podemos observar que la eficiencia técnica de los puertos regionales se encuentra en su mayoría en la frontera eficiente. Este resultado se explica por la heterogeneidad de los puertos en cuanto al tipo de la carga que se movilizan y al reducido tamaño de la muestra considerada. Puesto que no contar con un símil de cada puerto con quien comparar genera que la frontera eficiente, medida mediante retornos a escala variables, se construya con casi toda la muestra.

Cuadro N° 34: DEA – BCC input orientado

Puerto	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Promedio
Chimbote	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,836	0,827	0,958
Ilo	0,883	1,000	1,000	1,000	0,985	1,000	1,000	0,906	0,972
Matarani	0,815	1,000	1,000	0,876	1,000	1,000	1,000	1,000	0,961
Paita	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Salaverry	0,742	0,949	1,000	0,993	1,000	1,000	0,984	1,000	0,959
Gral. San Martín	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Callao	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Promedio	0,920	0,993	1,000	0,981	0,998	1,000	0,974	0,962	0,979

En el Cuadro N° 35 observamos el cálculo del índice de Malmquist promedio anual, donde se puede notar que el promedio anual del cambio en la productividad de los puertos regionales del Perú en el periodo 2002-2009 ha sido de 3,5%^{31 32}, estando la principal fuente de dicho cambio relacionada con el Cambio Tecnológico (CT). El cual se incrementó en promedio anualmente en 4.1%. Sin embargo, se debe tener en cuenta que se pueden estar atribuyendo cambios exógenos, como por ejemplo una mayor demanda, al componente de Cambio Tecnológico (CT)³³. En el caso de los puertos regionales del Perú, como ya se había mencionado, no ha habido una inversión significativa en activos fijos, salvo en el puerto de Matarani, el cual realizó en el año 2006 una inversión en la obtención de una nueva faja transportadora de minerales y en el puerto del Callao con la compra de dos grúas pórtico de muelle y dos grúas pórtico de patio para operar en el Muelle N° 5 en el año 2009³⁴. En ese sentido, el incremento mostrado en el Cambio Tecnológico (CT) puede ser atribuido, en una buena proporción, a un shock positivo de demanda, dada la característica de demanda derivada de los servicios e infraestructura portuaria³⁵.

³¹ El cambio en la productividad se obtiene restando la unidad al índice mostrado en la tabla, para el caso indicado tenemos $1.035 - 1.000 = 0.035 = 3.5\%$.

³² Para realizar los cálculos se utilizó el código de MATLAB mostrado en el Anexo V: Programación en MATLAB del IPM

³³ La descomposición del IPM atribuye los cambios exógenos en el desplazamiento de la frontera eficiente al componente de Cambio Tecnológico (CT).

³⁴ La inversión en el Muelle Sur no es tomada en cuenta debido a que no entra en operación en el periodo de análisis.

³⁵ Cabe señalar que en el periodo del 2002 al 2009 el PBI del Perú creció en promedio anualmente a una tasa de 6.02%.

Cuadro Nº 35: Índice de Malmquist: Promedio Anual

Años	CT	CE	CEP	CEE	IPM
2003/2002	1.003	1.066	1.086	0.982	1.070
2004/2003	0.993	1.163	1.007	1.154	1.155
2005/2004	1.220	0.868	0.980	0.885	1.059
2006/2005	1.066	1.009	1.018	0.991	1.075
2007/2006	1.023	0.954	1.002	0.952	0.976
2008/2007	1.202	0.945	0.973	0.972	1.136
2009/2008	0.834	0.977	0.987	0.991	0.815
Promedio 2009/2002	1.041	0.994	1.007	0.987	1.035

Con respecto a los componentes de la eficiencia técnica (CE), la eficiencia técnica pura (CEP) y la eficiencia de escala (CEE), se observa que en promedio los puertos regionales del Perú, han mejorado su eficiencia técnica pura (CEP) en 0.7% anualmente; sin embargo, dicho cambio no ha sido significativo, mostrándose incluso una disminución en su eficiencia para los periodos 2005/2004, 2008/2007 y 2009/2008. Dicha disminución se puede explicar debido a que se hubiera podido emplear una menor cantidad de capital y/o trabajo para abastecer la demanda requerida para esos periodos y por lo tanto, en dichos años se han ido alejando de la frontera eficiente.

En lo que respecta al cambio en eficiencia de escala (CEE), se observa que en promedio los puertos no se encuentran operando en la escala mínima eficiente. Esta ineficiencia en el caso de los puertos administrados por ENAPU S.A, la cual es una empresa estatal, y por lo tanto no dispone libremente de sus recursos, ya que se enfrenta a ciertas restricciones que provienen del marco legal que rige a las empresas del sector público peruano. Estas limitaciones legales, resta posibilidades a ENAPU S.A. de implementar políticas de inversión y endeudamiento, tal como sucede en el caso de las empresas de carácter privado.

Otro aspecto importante a resaltar es que el cambio en productividad del 2007/2006 y 2009/2008 disminuyó. Lo que se explica principalmente por la crisis crediticia e hipotecaria que acontecida en EEUU y se expandió al resto del mundo en el 2008 afectando a todos los puertos regionales sin excepción³⁶. Como se aprecia el IPM disminuyó en 18.5% en el periodo 2009/2008, lo cual es explicado principalmente por una disminución en la demanda, que se muestra como un cambio tecnológico (CT) negativo de -16.6%.

³⁶ Para mayor detalle del Índice de Productividad de Malmquist (IPM) anual según puerto ver el Anexo II.

Con respecto al análisis del cambio en la productividad de cada puerto, el Cuadro N° 36 muestra cuales han sido los factores que han determinado dicha productividad. Asimismo, se puede apreciar que los Puertos de Salaverry y Paita han mostrado un mayor cambio en productividad durante los últimos años (13.9% y 11.0% promedio anual respectivamente).

Cuadro N° 36: Índice de Malmquist: Promedio anual por Puerto

Puerto	CT	CE	CEP	CEE	IPM
Chimbote	1.020	0.947	0.973	0.973	0.966
Ilo	1.062	0.959	1.004	0.956	1.019
Matarani	1.032	0.959	1.030	0.931	0.990
Paita	1.110	1.000	1.000	1.000	1.110
Salaverry	1.030	1.105	1.044	1.059	1.139
Gral. San Martín	1.012	1.000	1.000	1.000	1.012
Callao	1.027	0.994	1.000	0.994	1.021
Promedio	1.041	0.994	1.007	0.987	1.035

Además, se observa que el terminal de Paita y Gral. San Martín han operado durante dicho periodo, en promedio, en la escala óptima (CEE), además de ser eficientes desde la perspectiva de la eficiencia técnica pura (CEP). De lo cual se desprende que, en dichos puertos, el cambio en la productividad es debido a un cambio tecnológico (CT), que como se mencionó anteriormente, tiene su origen en un cambio exógeno producido por un shock en demanda.

En el caso del terminal de Paita, durante el periodo 2002 – 2009 el tráfico de carga movilizada se ha incrementado en 4.4% (pese a tener una abrupta caída en el 2009 de -22.7%). Dicho incremento en el periodo de análisis es explicado principalmente por el aumento de la carga de exportación contenedorizada el cual representa el 78.8% en dicho terminal portuario. Cabe resaltar que los principales productos exportados corresponden al café, frijol, harina de pescado, mangos, pescado congelado, plátano y pota/calamar los cuales representan un mercado cautivo dentro de la región.

El terminal portuario de Gral. San Martín, por su parte ha incrementado su tráfico movilizado en 1.7% durante el periodo 2002 – 2009, pese a tener una caída significativa de 24.4% en el 2009. Cabe señalar que, el principal producto de exportación es la sal industrial y con respecto a los principales productos de importación se tiene las barras de construcción, tubos de acero y platinas de acero.

Con respecto al terminal portuario de Salaverry, durante el periodo 2002-2009, el tráfico de carga movilizada se incrementó en promedio anualmente 9.2%. Siendo, la carga de importación la que se moviliza principalmente (79.5% en promedio) y ha crecido en promedio en 6.4%. Los principales productos importados fueron el maíz, la soya, la urea, el trigo, el carbón, el nitrato de amonio y el sulfato de amonio. Por otro lado, los principales productos de exportación corresponden al azúcar, harina de pescado, zinc, papel, alcohol etílico, carbón y cobre. Cabe precisar que en este caso también existe un alto grado de cautividad de dichos productos.

En el caso del puerto del Callao se tiene que el tráfico de carga movilizado durante el periodo 2002-2009 ha crecido en promedio, anualmente 5.6% y que la mayor carga corresponde a la carga contenedorizada, la cual ha tenido un incremento en promedio de 11.8% y representa el 58.8% del total movilizado. Los principales productos importados por dicho puerto corresponden al trigo, maíz, y torta de soya, mientras que en el caso de las exportaciones tenemos el zinc y otros minerales. Cabe señalar que el puerto del Callao durante el periodo 2002-2008 ha estado operando en la escala mínima eficiente, sin embargo en el 2009 al realizarse la inversión de dos grúas de patio y dos grúas portacontenedores y con efectos de la crisis financiera dicho puerto presentó ineficiencias de escala³⁷.

Por otro lado, con respecto al puerto de Ilo, éste incrementó su tráfico de carga en 8.1% durante el periodo 2002-2009, pese a una disminución considerable en el año 2009 de -45.2%. Dicho puerto se ha caracterizado por el incremento en la carga de exportación la cual representa actualmente el 58.8%, siendo la exportación de cobre, cátodos de cobre y la harina de pescado los productos principales, que representan el 49.3% del total movilizado por dicho puerto. Cabe resaltar que la exportación del cobre y de los cátodos de cobre, en su mayoría, pertenecen a la empresa Southern Peru Copper Corporation. Por otro lado, con respecto al régimen de importación el principal producto es el trigo 29.3%, el cual en su mayoría corresponde a carga en tránsito hacia Bolivia.

Los terminales portuarios que han mostrado ligeras disminuciones en su productividad anual en promedio durante el 2002 – 2009 son los puertos de Chimbote y Matarani. El terminal de Chimbote, ha disminuido su productividad en 3.4% anual en promedio. Dicha disminución es consecuencia de una reducción en la eficiencia técnica pura (CEP) y en la eficiencia de escala (CEE). Dichas disminuciones son explicadas principalmente por el incremento en 40.7% en el número de trabajadores del periodo 2007 al 2009, sumado a una disminución de tránsito de

³⁷ Para mayor detalle ver el cálculo de IPM por año en el Anexo II.

carga desde el 2005 al 2009 de -5.3% promedio anual. Cabe señalar que en el terminal de Chimbote predomina en un 99.7% la carga de exportación, exclusivamente de harina de pescado, siendo un 85.4% movilizadas bajo carga fraccionada y un 13.9% en contenedores.

Por otro lado, con respecto al terminal portuario de Matarani, este mostró eficiencia desde un punto de vista técnico, salvo en los años 2002 y 2005. El cambio en la productividad total de los factores en promedio durante el 2002 al 2007 ha venido creciendo en 5.0%, logrando un incremento sustancial de 29.5% en el periodo 2007/2006³⁸, influenciado por las inversiones obligatorias estipuladas en el contrato de concesión, las cuales corresponden principalmente a la ampliación de capacidad de almacenamiento de silos para granos, la instalación de una torre absorbente para granos y la ampliación de la faja transportadora de minerales. Asimismo, dicho crecimiento en el IPM en el 2007-2006 se debió a que el concesionario realizó una inversión voluntaria cercana a los US\$15.7 correspondientes a un nuevo sistema de embarque de minerales a finales del 2006. No obstante, en los años 2008 y 2009 el IPM ha disminuido considerablemente en -14.5% en promedio anual, esto influenciado por el aumento en el número de trabajadores en 37.1% y la disminución de -0.9% del total de carga movilizada.

Cabe señalar que el puerto de Matarani en los últimos años ha cambiado la estructura de la carga, pasando de ser mayoritariamente importación en el 2002 a movilizar mayor carga de exportación hasta el 2009, debido al incremento en la actividad económica los últimos años. La carga movilizada por dicho puerto se puede diferenciar en: carga regional y carga en tránsito boliviana cautiva y no cautiva. Con respecto a la carga regional, se tiene principalmente la exportación de concentrados y cátodos de cobre provenientes de las empresas Sociedad Minera Cerro Verde, Xtrata (Tintaya) y relacionado al régimen de importación y tránsito se tiene principalmente el trigo, el cual tienen como destino la zona sur del Perú y Bolivia. Presentado la el trigo un alto grado de cautividad para las zonas correspondiente principalmente a Arequipa y Puno. Otros productos importantes movilizados por dicho terminal corresponden a la importación de ácido sulfúrico y sulfhidrato de sodio (NaSH), los cuales son utilizados para la actividad minera y la exportación de alcohol procedente de Bolivia.

Como se ha podido apreciar, el terminal portuario de Matarani, muestra un alto grado de cautividad para los productos procedentes de la región; sin embargo, con respecto a la carga en tránsito boliviana se observa que la participación de ésta ha venido disminuyendo en los últimos años y en el 2009 mostró una participación de 15% respecto al total de carga en tránsito boliviana. La existencia de puertos chilenos alternativos han influenciado

³⁸ Para mayor detalle ver el cálculo de IPM por año en el Anexo II.

significativamente en esta disminución, teniendo como principales terminales el Terminal portuario de Arica (TPA), el terminal portuario de Antofagasta (ATP) y el terminal portuario de Iquique (ITI) los cuales tienen una participación de la carga en tránsito boliviana de 68%, 11% y 6% respectivamente en el año 2009.

En ese sentido una variable significativa que podría explicar la disminución en la productividad del puerto de Matarani podría ser la competencia que enfrenta éste ante la carga en tránsito boliviana con los puertos chilenos, en especial con el terminal portuario de Arica, que ha empezado a operar a partir del mes de Octubre del 2004 por la empresa privada Terminal Portuario Arica (TPA).

La preferencia de las empresas que operan en Bolivia por los puertos chilenos para la movilización de su carga, podría deberse a las mejores condiciones de la infraestructura portuaria y terrestre que poseen frente al terminal portuario de Matarani.

El modelo planteado en esta sección presenta ciertas debilidades en mostrar si es que el tipo de gestión, sea pública o privada, de los puertos es un factor determinante del grado de eficiencia y de cambios en la productividad de los puertos regionales, dado que durante el periodo analizado el único puerto que se encuentra gestionado por una empresa privada es el puerto de Matarani y recién a partir de octubre del 2009 el puerto de Paita. Asimismo, nos encontramos con puertos que en su mayoría se especializan en cierto tipo de carga y presentan un alto grado de cautividad de su carga movilizadora, lo cual limita en cierto sentido la comparación de las medidas de eficiencia y el poder testear otras variables ambientales que pueden ser determinantes en el nivel de eficiencia. Es por ello que se vio en la necesidad de incrementar el tamaño de la muestra con otros puertos de la costa oeste del pacifico para posteriormente calcular las medidas de eficiencia técnica, el Índice de Malmquist y asimismo realizar la prueba no paramétrica de Mann Whitney para determinar si la existencia de algunas variables ambientales como: el tipo de gestión, la ubicación geográfica o el tamaño del puerto son determinantes en el nivel de eficiencia obtenidos.

10.2 Segundo Modelo: Puertos Peruanos y Chilenos

En este modelo se incorpora a la muestra algunos de los principales puertos del norte de Chile, estos son el puerto de Angamos, Arica Terminal Internacional (ATI), Iquique Terminal Internacional (ITI), San Vicente, San Antonio Terminal Internacional (STI), Terminal Portuario de Arica (TPA) y el Terminal Pacifico Sur Valparaíso(TPS), con el objetivo de testear si es que el tipo de gestión de los puertos es un factor determinante del grado de eficiencia y de cambios

en la productividad de los puertos regionales, así como para mejorar la estimación de la frontera.

Es necesario precisar que los puertos chilenos incorporados en este estudio se encuentran bajo una administración privada y que el mecanismo de concesión empleado para cada uno de ellos concedía la exclusividad de la prestación de los servicios dentro del puerto (monoperador). En ese sentido, puesto que los terminales se encuentran integrados, estos realizan los servicios adicionales a los de prestación de infraestructura, como los de manipuleo de carga y de almacenaje por ejemplo³⁹, los cuales no son brindados necesariamente por los administradores de los puertos regionales del Perú ENAPU y TISUR en el periodo de análisis. En el caso de TPE la situación es similar a la de los puertos chilenos⁴⁰.

Los datos de los puertos chilenos se obtuvieron de sus respectivas memorias. Con respecto a los inputs, no se contó con la información de manera desagregada para cada tipo de servicio; es decir, servicios a la nave y servicios a la carga. Por ello, al haberse tomado inputs mayores para el caso de los puertos chilenos (ya que no se pudo desagregar), las medidas de eficiencias calculadas, al considerar la información de los puertos peruanos y chilenos, estarían en cierta medida sobreestimadas para los puertos peruanos o subestimadas para los puertos chilenos. Además de lo mencionado, se debe indicar que los datos disponibles para los puertos chilenos sólo estaban disponibles a partir del año 2004.

A pesar de lo indicado en el párrafo anterior, los resultados obtenidos mediante el modelo DEA – BCC input orientado muestran resultados muy similares que el modelo inicial, el cual sólo incluía a los puertos peruanos. El ranking de eficiencia que reporta para los puertos peruanos, otorgan en primer lugar al puerto del Callao como el más eficiente, seguido por los de Paita y Matarani.

³⁹ Para una explicación detallada de los servicios prestados en un puerto ver la sección III de este documento en su numeral 3.6 (Servicios Portuarios).

⁴⁰ Terminales Portuarios Euroandinos (TPE) obtiene la concesión del Puerto de Paita a partir de septiembre del 2009 y en este caso, el mecanismo de concesión consideró que los servicios se realicen en forma integrada por el administrador del Puerto, a excepción del servicio de practaje y remolaje.
(<http://www.ositran.gob.pe/RepositorioAPS/0/0/par/CTPPAITA/Contrato%20TP%20Paita.pdf>)

Cuadro N° 37: DEA – BCC input orientado

Puerto	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Promedio
Callao	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Chimbote	0.667	0.697	0.719	0.800	0.740	0.796	0.737
Gral. San Martín	0.810	0.613	0.605	0.718	1.000	1.000	0.791
Ilo	0.644	0.657	0.657	0.757	0.902	0.867	0.747
Paita	1.000	1.000	1.000	0.983	1.000	1.000	0.997
Salaverry	0.550	0.590	0.590	0.700	0.860	0.867	0.693
Matarani	0.798	0.521	0.943	1.000	1.000	0.918	0.863
PERÚ	0.781	0.725	0.788	0.851	0.929	0.921	0.827
Angamos	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
ATI	0.557	0.165	0.226	0.116	0.124	0.133	0.220
ITI	0.511	0.382	0.405	0.419	0.427	0.398	0.424
San Vicente	0.384	0.534	0.678	0.751	0.590	0.665	0.600
STI	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
TPA	1.000	0.307	0.248	0.228	0.189	0.205	0.363
TPS	1.000	0.910	1.000	1.000	1.000	1.000	0.985
CHILE	0.779	0.614	0.651	0.645	0.619	0.629	0.656
TOTAL	0.780	0.670	0.719	0.748	0.774	0.775	0.744

El Cuadro N° 37 muestra los resultados de las medidas de eficiencia técnica obtenidas mediante el DEA para la muestra incorporando los puertos chilenos. Se puede apreciar que el puerto del Callao⁴¹ se encontró siempre en la frontera eficiente. Esto se explica principalmente por tema que la demanda de servicios y de infraestructura portuaria es una demanda derivada de la actividad económica del país, el cual ha tenido un considerable crecimiento en los últimos años, reflejándose en un aumento importante en la actividad de dicho puerto.

Por su parte, el puerto de Paita también se ha encontrado en la frontera eficiente en los últimos años, salvo en el año 2007. En el puerto de Matarani se observa una mejora de la eficiencia, ubicándola en el año 2007 y 2008 en la frontera eficiente y presentando una disminución de la misma en el 2009, debido principalmente a impacto negativo que generó la crisis financiera, principalmente por la disminución de la exportación de concentrados y cátodos de cobre provenientes de las empresas Sociedad Minera Cerro Verde y Xtrata (Tintaya).

El Cuadro N° 37 muestra también los resultados de las medidas de eficiencia técnica obtenidas mediante el DEA para los puertos chilenos, donde se observa que los puertos de Angamos, STI

⁴¹ El cual ya recibió inversión privada en el Muelle Sur el cual no entró en operación en el periodo de análisis, y próximamente recibirá inversión privada en el Muelle Norte a través de una asociación público privada.

y TPS⁴² pese a que brindan servicios adicionales dentro del puerto, se ubican en la frontera eficiente, salvo para TPS en el año 2006.

Asimismo, los resultados nos muestran indicios de que los puertos que son más grandes y los que tienden a ser considerados como *hub* en la costa oeste del Pacífico sur (Callao, STI y TPS) son los que se ubican en la frontera eficiente a comparación del resto de puertos más pequeños.

En el Cuadro N° 38, se muestra los resultados obtenidos mediante el Índice de Malmquist, el cual nos da el cambio promedio en la productividad anual para cada país y en términos agregados. Asimismo, se muestra la descomposición en Cambio Tecnológico (CT) y Eficiencia Técnica (CE), donde esta última se compone por Eficiencia Técnica Pura (CEP) y Eficiencia de Escala (CEE).

Un resultado importante es que al incorporar los puertos chilenos dentro de la muestra, los puertos peruanos, en promedio, no muestran un incremento en la productividad. Sin embargo, desde el año 2005 al 2008 se observa que en promedio anualmente durante ese periodo han incrementado en 8.5%, teniendo una caída para el año 2009 de 25.3% influenciada básicamente por la crisis financiera internacional.

En el caso del cambio en la productividad de los puertos chilenos, se observa que su productividad en promedio cae en el periodo de análisis.

⁴² Que son los que movilizan mayor volumen de carga en Chile.

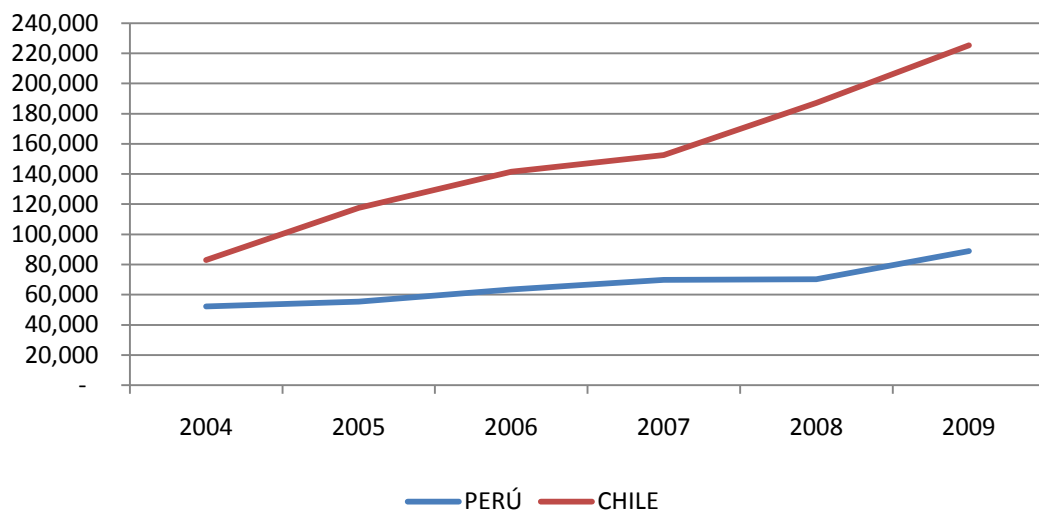
Cuadro N° 38: Índice de Malmquist: Promedio Anual

Periodo	CT	CE	CEP	CEE	IPM
2005/2004	1.128	0.881	0.921	0.956	0.994
2006/2005	1.037	1.083	1.091	0.993	1.123
2007/2006	1.077	0.929	1.094	0.849	1.000
2008/2007	0.891	1.271	1.098	1.158	1.132
2009/2008	0.882	0.847	0.993	0.853	0.747
PERU	0.998	0.991	1.037	0.955	0.989
2005/2004	1.022	0.766	0.705	1.087	0.783
2006/2005	1.103	0.953	1.072	0.889	1.051
2007/2006	1.244	0.923	0.917	1.006	1.148
2008/2007	0.893	0.986	0.951	1.037	0.881
2009/2008	0.894	0.968	1.029	0.941	0.866
CHILE	1.023	0.915	0.925	0.989	0.936
2005/2004	1.074	0.821	0.806	1.019	0.882
2006/2005	1.069	1.016	1.082	0.939	1.087
2007/2006	1.157	0.926	1.002	0.924	1.072
2008/2007	0.892	1.120	1.022	1.096	0.999
2009/2008	0.888	0.906	1.011	0.896	0.804
TOTAL	1.010	0.952	0.980	0.972	0.962

Con respecto a las medidas del cambio en PTF por puerto, observamos en el Cuadro N° 38, que los puertos chilenos han tenido un incremento promedio anual en Cambio Tecnológico (CT) de 2.3% y los puertos peruanos, por el contrario, muestran que no han tenido incrementos en cambios tecnológico para el periodo completo de análisis, pese a haber presentado incrementos significativos en demanda, tal y como se mencionó en el primer modelo.

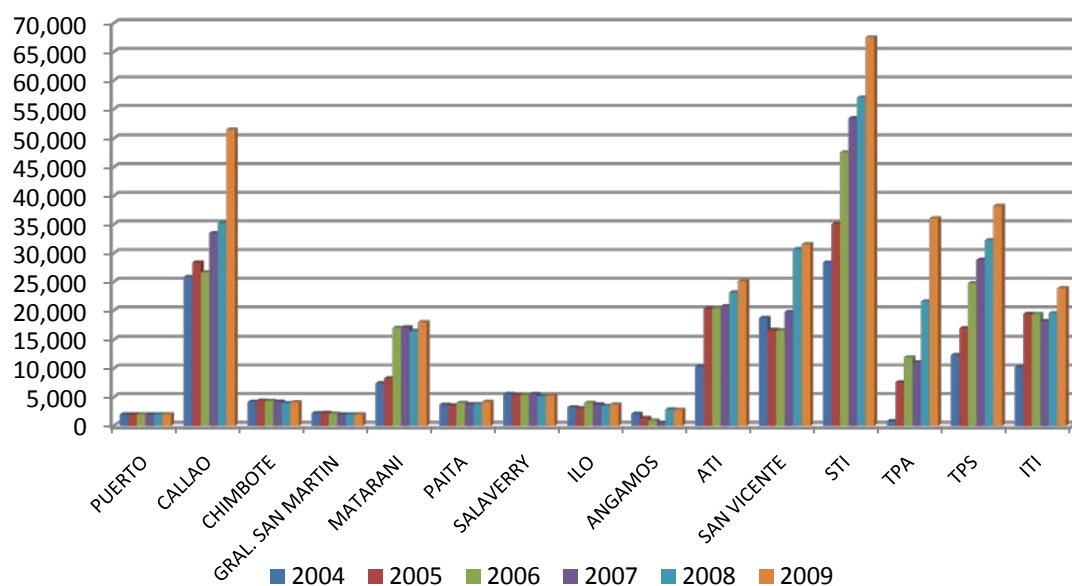
Dicho resultado se argumenta en la mayor inversión realizada por parte de los puertos chilenos en comparación con los peruanos en la compra de equipos modernos como grúas pórtico de muelle, grúas pórtico de patio, etc y la mayor inversión realizada en el mejoramiento de los terminales, de los silos, etc. En el Gráfico N° 15 se puede apreciar la evolución de los activos fijos de ambos países, en donde se observa que los puertos chilenos han experimentado un incremento del stock de sus activos fijos en 171.34%, mientras que los puertos peruanos, por su parte, tuvieron un incremento sólo de 70.28%.

Gráfico N° 15: Evolución del valor del activo fijo por país: Perú-Chile



Fuente: ENAPU, TISUR, Puerto Angamos, ATI, ITI, San Vicente, STI, TPA y TPS
Elaboración: Propia

Gráfico N° 16: Evolución del valor del activo fijo por puerto: Perú-Chile



Fuente: ENAPU, TISUR, Puerto Angamos, ATI, ITI, San Vicente, STI, TPA y TPS
Elaboración: Propia

Cabe precisar, que el incremento en el stock de los activos fijos de los puertos peruanos está influenciado principalmente por la inversión realizada en el puerto del Callao en el año 2009 y la del puerto de Matarani en el año 2006. Por otro lado, se aprecia que todos los puertos chilenos

considerados en nuestro estudio han realizado inversiones considerables, a excepción del puerto de Angamos, siendo el que más ha invertido el terminal internacional de San Antonio (STI), quien experimentó un incremento en su stock de activos fijos de 138.03% durante el periodo 2004 al 2009. (ver Gráfico N° 16)

Con respecto al cambio en eficiencia de escala, se aprecia que los puertos peruanos han disminuido, en promedio, sus eficiencias de escalas, siendo los únicos que ganaron en productividad por este concepto los puertos de Gral. San Martín, Paita y Salaverry (al igual que en el primer modelo que sólo considera a los puertos peruanos).

Por otro lado, la Eficiencia Técnica Pura (CEP) se ha incrementado para los puertos peruanos en 3.7%, mientras que en el caso de los puertos chilenos ha disminuido en 7.5%. Sin embargo, cabe señalar que las medidas de eficiencia técnica para el caso de los puertos peruanos se encuentran sobreestimadas o las de los chilenos subestimadas. En ese sentido, no es recomendable realizar la comparación de la variable Eficiencia Técnica Pura (CEP) entre países.

Cuadro N° 39: Índice de Malmquist: Promedio anual por Puerto

Puerto	CT	CE	CEP	CEE	IPM
Callao	0.991	0.966	1.000	0.966	0.957
Chimbote	0.979	0.817	1.036	0.788	0.800
Gral. San Martín	0.981	1.048	1.043	1.004	1.027
Ilo	1.043	1.012	1.061	0.953	1.055
Paita	1.063	1.015	1.000	1.015	1.078
Salaverry	0.957	1.107	1.095	1.011	1.059
Matarani	0.975	0.999	1.028	0.971	0.974
PERU	0.998	0.991	1.037	0.955	0.989
Angamos	1.036	1.000	1.000	1.000	1.036
ATI	1.016	0.854	0.751	1.138	0.867
ITI	1.034	0.936	0.951	0.984	0.968
San Vicente	1.018	1.063	1.116	0.952	1.082
STI	0.999	0.950	1.000	0.950	0.949
TPA	0.998	0.725	0.728	0.995	0.723
TPS	1.061	0.922	1.000	0.922	0.978
CHILE	1.023	0.916	0.925	0.990	0.936
TOTAL	1.010	0.952	0.980	0.972	0.962

Cabe precisar que la comparación entre los resultados promedios obtenidos en el primer modelo no son comparables con el segundo modelo, dado la heterogeneidad temporal existente y a las otras restricciones correspondientes a la agregación de los inputs. Sin

embargo, a pesar de lo mencionado, se muestra cierta consistencia en los resultados obtenidos.

XI. Variables Determinantes de la Eficiencia

Un aspecto importante que muestra la literatura respecto al análisis de eficiencia y productividad, es el identificar los factores que pueden explicar la eficiencia técnica de las empresas, así como las principales fuentes del cambio en productividad.

En ese sentido, según la revisión de la literatura, las variables relevantes que podrían explicar las diferencias en las medidas de eficiencia obtenida sería el tipo de gestión existente; es decir, si es de régimen público o privado, la ubicación geográfica (norte o sur) y el tipo o tamaño del puerto.

Para analizar ello, se ha agrupado a las empresas según su régimen de propiedad (variable propiedad), la ubicación geográfica (variable país) y según el tamaño (variable tamaño) para proceder a realizar el test no paramétrico de Mann – Whitney

Cuadro Nº 40: Test Mann – Whitney

Variable		2004	2005	2006	2007	2008	2009	Promedio
Propiedad	T	45.000	55.000	47.000	45.000	51.000	52.500	50.000
	U	24.000	34.000	26.000	24.000	30.000	31.500	29.000
	p-value	0.525	0.114	0.426	0.525	0.245	0.173	0.286
País	T	52.000	59.000	56.000	57.000	62.000	60.500	59.000
	U	24.000	31.000	28.000	29.000	34.000	32.500	31.000
	p-value	0.549	0.228	0.355	0.310	0.130	0.159	0.228
Tamaño	T	36.000	36.000	37.500	36.000	33.000	34.500	37.500
	U	30.000	30.000	31.500	30.000	27.000	28.500	31.500
	p-value	0.019	0.019	0.006	0.019	0.063	0.030	0.006

Dicho test evalúa la heterogeneidad de dos muestras ordinales. Es decir, cuando los valores tienden a una variable continua, pero no tienen una distribución normal y resulta aplicable cuando las muestras son independientes. En nuestro caso, la variable continua no normal es la eficiencia técnica y la hipótesis nula de dicho test es que, las diferencias entre ambas muestras

no se debe a la variable de agrupación, mientras que la hipótesis alternativa es que las medidas de eficiencia de un grupo son más altas y diferentes que el otro⁴³.

El Cuadro N° 40, muestra los resultados de dicho test. Como se puede observar, no existe evidencias suficientes para argumentar que el tipo de gestión (propiedad) o la ubicación geográfica (País) sean variables que determinen la diferencia en el nivel de eficiencia técnica obtenido.

Por otro lado, la variable Tamaño divide a la muestra en dos grupos, una correspondiente a los puertos que tienden a convertirse en un hub en la Costa Oeste del Pacífico (STI, TPA y TPS) y otra que agrupa al resto de puertos, que en su mayoría movilizan carga cautiva de cada región.

Los resultados obtenidos mediante el test de Mann-Whitney nos muestran que existe una diferencia significativa entre las medidas de eficiencia de ambos grupos durante el periodo 2004 al 2009. Por lo tanto, los puertos que tienden a querer ubicarse como un hub que son los que movilizan mayor volumen de carga presentan mayor eficiencia técnica.

Esto también lo podemos comprobar mediante el método de segunda etapa sugerido por Coelli et. al (2005) en donde mediante un modelo Tobit se regresa las medidas de eficiencia obtenidas en la primera etapa con las variables de entorno o inputs no controlables que podrían explicar el nivel de eficiencia obtenido.

En ese sentido, dado que se cuenta con una base de datos en panel, se procedió a efectuar la regresión de un modelo tobit en panel con efectos aleatorios⁴⁴, considerando como variables explicativas a la propiedad (propiedad), país (pais) y tamaño (tamano).

⁴³ Esto dependerá del orden en que son presentadas las dos muestras agrupadas

⁴⁴ Dicha estimación se realizó empleando el comando xtobit del programa Stata versión 11

Cuadro Nº 41: Modelo Tobit con Efectos Aleatorios Nº1

Random-effects tobit regression	Number of obs	=	84
Group variable: Puerto	Number of groups	=	14
Random effects u_i ~ Gaussian	Obs per group: min	=	6
	avg	=	6.0
	max	=	6
Log likelihood = -10.517894	Wald chi2(3)	=	11.98
	Prob > chi2	=	0.0075

Ef_tecnica	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
propiedad	.0576621	.2900678	0.20	0.842	-.5108603	.6261845
pais	-.3341135	.2904174	-1.15	0.250	-.9033211	.2350942
tamano	.7987848	.2396036	3.33	0.001	.3291703	1.268399
_cons	.8439408	.1174843	7.18	0.000	.6136757	1.074206
/sigma_u	.2539564	.0635048	4.00	0.000	.1294893	.3784236
/sigma_e	.179016	.0197785	9.05	0.000	.1402509	.2177811
rho	.6680492	.1184239			.4188344	.8585757
Observation summary:						
			0	left-censored observations		
			51	uncensored observations		
			33	right-censored observations		

Los resultados obtenidos mediante el modelo tobit con efectos aleatorios, muestran las mismas conclusiones con respecto a la significancia individual de las variables propiedad, pais y tamaño. Es decir, no existe evidencias suficientes para determinar si el tipo de gestión (propiedad), pública o privada y la ubicación geográfica (pais) sean variables que determinen el nivel de eficiencia obtenido. Con respecto al tamaño de los puertos (tamano), se obtuvo que puertos tienden a convertirse en un hub en la Costa Oeste del Pacífico (STI, TPA y TPS), que son los que movilizan mayor volumen de carga, presentan mayor eficiencia técnica.

Estos resultados muestran consistencia con los obtenidos mediante el test no paramétrico de Mann Whitney, sin embargo, cabe señalar que las medidas de eficiencia obtenidas en la primera etapa estarían en cierta medida sobreestimadas para los puertos peruanos o subestimadas para los puertos chilenos, dado que en el caso de los puertos de Chile, los inputs considerandos se encuentran agregados para la prestación de servicios a la nave y servicios a la carga, tal como se mencionó en la sección anterior.

Por otro lado, en la sección anterior se mencionó los indicadores físicos empleados usualmente para evaluar el funcionamiento de los puertos y para la toma de decisiones. Por ello, se vio

conveniente el corroborar si el tiempo de rotación y la tasa de ocupación son variables determinantes en el nivel de eficiencia obtenido. Para ello se estimó un modelo tobit con efectos aleatorios considerando los indicadores físicos mencionados. Dichos indicadores se obtuvieron para todos los puertos a excepción del Puerto de Angamos y el puerto de San Vicente.

Los resultados del modelo tobit se muestran a continuación en el Cuadro N° 42.

Cuadro N° 42: Modelo Tobit con Efectos Aleatorios N°2

Random-effects tobit regression	Number of obs	=	72
Group variable: Puerto	Number of groups	=	12
Random effects u_i ~ Gaussian	Obs per group: min	=	6
	avg	=	6.0
	max	=	6
Log likelihood = -10.73471	Wald chi2(2)	=	8.76
	Prob > chi2	=	0.0125

Ef_tecnica	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]
ocupabilidad	.013714	.0047411	2.89	0.004	.0044217 .0230063
rotacion	-.0056338	.003008	-1.87	0.061	-.0115294 .0002617
_cons	.6635391	.1637688	4.05	0.000	.3425582 .9845201
/sigma_u	.3388417	.0853746	3.97	0.000	.1715105 .5061729
/sigma_e	.1758804	.0210389	8.36	0.000	.1346449 .2171158
rho	.787757	.0922452			.5695493 .9225012

Observation summary:	0 left-censored observations
	45 uncensored observations
	27 right-censored observations

Como se puede apreciar, la tasa de ocupabilidad resulta ser significativa al 1%, mientras que el tiempo de rotación lo es al 6.1%. Asimismo tenemos que los signos de los coeficientes resultan ser los esperados. Puesto que la eficiencia técnica se puede incrementar, por un lado, atrayendo una mayor cantidad de buques, lo cual generaría un incremento en la tasa de ocupabilidad de los amarraderos y por otro lado reduciendo el tiempo de permanencia promedio de cada nave en los amarraderos (tiempo de rotación).

Sin embargo, cabe señalar, que los índices físicos mencionados variarán entre los puertos, dependiendo de la composición del tipo de carga que movilicen, es decir si predomina la

movilización de carga contenedorizada, rodante, a granel o fraccionada⁴⁵, el tipo de nave que arriben⁴⁶, la infraestructura⁴⁷ y la tecnología existente, la cual está asociado a cada tipo de carga (grúas, fajas transportadora de minerales, torre absorbente para granos, etc).

Por ejemplo, si consideramos un puerto en el que predomine la carga contenedorizada, éste tendrá un menor tiempo de rotación que uno en el cual predomine la carga a granel. Por otro lado, un puerto donde predomine el arribo de buques postpanamax tendrá un mayor tiempo de rotación y una mayor tasa de ocupación que uno donde predominen naves de menor eslora.

En ese sentido, la interpretación de estos indicadores deberán de ser tomados con cautela si es que el objetivo de ellos es realizar comparación entre los puertos para medir el desempeño de los mismos.

⁴⁵ Para mayor detalle sobre los tipos de carga ver sección 3.5 Tipos de carga

⁴⁶ Para mayor detalle sobre los tipos de naves ver sección 3.9 Cambios en la industria de transporte en las últimas décadas

⁴⁷ Para mayor detalle sobre la infraestructura portuaria ver sección 3.3 Características económicas de los puertos

XII. Conclusiones y recomendaciones

12.1 Conclusiones

1. Los puertos peruanos más eficientes, en promedio para el periodo 2004 - 2009, según la muestra que considera a los puertos peruanos y chilenos, resultaron ser el puerto del Callao, el puerto de Paita y Matarani, seguido de Gral. San Martín, Ilo, Chimbote y Salaverry. Con respecto a los puertos de Chile los que obtuvieron el primer lugar fueron el puerto de Angamos y TPS seguido por STI.
2. Los puertos peruanos que se encontraron en la frontera eficiente en los últimos años de análisis han sido el puerto del Callao, San Martín, Paita y Matarani, mientras que en lo que respecta a los puertos de Chile fueron el puerto de Angamos, STI y TPS. Dicho resultado muestra que, el puerto de Angamos, STI y TPS lograron ser eficientes brindados mayores servicios que los puertos peruanos, lo cual pone en cuestionamiento si el puerto del Callao, San Martín, Paita y Matarani son igual o menos eficientes que los puertos de Angamos, STI y TPS. Dicha interrogante podría absolverse si se contará con datos desagregados de inputs en servicio a la nave y a la carga.
3. El puerto de Matarani, el cual se concesionó en 1999, ha sufrido un incremento anual en el cambio en eficiencia técnica en los últimos años incrementando en promedio 5.8% entre el 2004 al 2008, inclusive por encima del promedio del total de los puertos peruanos durante dicho periodo (4.8%), a excepción del 2009 en donde fue afectado por la crisis financiera internacional acontecida en EEUU en donde disminuyó su productividad en 9.2%.
4. Actualmente se observa que los puertos que resultaron ser más eficientes (Paita, Matarani y Callao) están recibiendo mayor atención por parte del Estado, dejando rezagados el resto de puertos regionales. En el caso del puerto de Matarani, éste ha venido modernizándose a raíz de la concesión realizada en 1999 a la empresa Terminal Internacional Del Sur- TISUR. Por su parte el Puerto de Paita y el Puerto del Callao han sido concesionados en los últimos años. Con respecto al puerto de Paita, éste se otorgó en concesión a la empresa Terminal Portuario Euroandino -TPE a fines del 2009 y los Muelles Sur y Norte del Puerto del Callao se concesionaron en el 2006 a la empresa DP-World y en el 2011 al Consorcio APM Terminals respectivamente.

5. Con respecto al cambio en la Productividad Total de los Factores, tomando en consideración al modelo que contiene a los puertos peruanos, se puede concluir que hubo un incremento en la productividad en los puertos peruanos para el periodo 2002 – 2009 que fue en promedio aproximadamente 3.5% por año. Dicho cambio se explica en su mayor parte por el componente de Cambio Tecnológico (CT), el cual a su vez es explicado por un shock exógeno producido por la mayor demanda derivada de la infraestructura y servicios portuarios, ya que en los puertos peruanos la inversión ha sido mínima, a excepción de la realizada en el puerto del Callao, adquiriendo dos grúas portacontenedores, y en el puerto de Matarani, donde se han venido realizando inversiones que corresponden principalmente a la ampliación de capacidad de almacenamiento de silos para granos, la instalación de una torre absorbente para granos, la ampliación de la faja transportadora de minerales y a un nuevo sistema de embarque de minerales.
6. El cambio en la productividad Total de los Factores para el periodo 2004 – 2009 fue en promedio prácticamente nula en cada año, encontrándose en un rango de entre 0.57% para el primer modelo y -1.14% para el segundo modelo que incluye los puertos chilenos, lo cual nos muestra cierta robustez de los resultados. Asimismo se encontró que una parte importante del crecimiento fue obtenido durante el primer periodo de análisis (años 2002 y 2003) y además que la crisis financiera internacional afectó de manera importante al Perú en cuanto al tráfico portuario, lo que se refleja en una importante caída en la productividad total de los factores para el año 2009 representada por una caída importante en el Cambio Tecnológico (CT).
7. Para el periodo 2004 – 2008 se puede concluir que hubo un incremento en la productividad en los puertos peruanos que fue en promedio de entre 5.99% y 6.03% por año, resultados del primer y segundo modelo respectivamente. Lo que nos indica que la caída en productividad presentada en el 2009, influenciada por la crisis financiera, afectó significativamente a la productividad de los puertos peruanos.
8. Para el periodo 2004 – 2009 los puertos que incrementaron en promedio su productividad en mayor magnitud fueron respectivamente los puertos de Salaverry, Paita, Ilo, San Martín, Matarani, Callao y finalmente Chimbote.
9. En promedio, los puertos regionales del Perú han disminuido su Eficiencia de Escala (CEE), lo cual, en el caso de los puertos administrados por ENAPU S.A, se podría explicar por el entorno institucional en el que operan las empresas públicas.

10. Según el test no paramétrico de Mann Whitney y el análisis de segunda etapa mediante el modelo tobit, se encuentra evidencia concluyente de que el tamaño del puerto es una variable determinante de la eficiencia. En específico, los puertos más grandes de la muestra que tienden a ser considerados como puertos *hub* (Callao, Valparaíso (TPS) y San Antonio (STI)), resultarían ser los más eficientes. Esto se puede explicar por las mayores economías a escala que se obtienen por el mayor volumen de carga atendida y las economías de ámbito desarrolladas.
11. Por otro lado, según el test no paramétrico de Mann Whitney y la estimación del modelo tobit, no se encuentra evidencia suficiente para argumentar que el tipo de gestión, sea pública o privada; o la ubicación geográfica, sea peruana o chilena, sean variables que determinen la eficiencia de los puertos. Sin embargo, estos resultados podrían atribuirse a que, con respecto a los puertos de Chile, no se contó con la información de los inputs de manera desagregada para cada tipo de servicio; es decir, servicios a la nave y servicios a la carga. Por ello, al haberse tomado inputs mayores para el caso de los puertos chilenos (ya que no se pudo desagregar), las medidas de eficiencias calculadas, al considerar la información de los puertos peruanos y chilenos, estarían en cierta medida sobreestimada para los puertos del Perú o subestimada para los puertos de Chile.
12. Se observa que los puertos chilenos de la muestra tomada, durante el periodo 2004 – 2009, sufrieron un avance en el progreso tecnológico (2.3% promedio anual), derivado principalmente del mejoramiento de los terminales y la incorporación de equipos y diversos tipos de grúas, inversión que se permite debido al entrono institucional en el que operan las empresas privadas, llegando a contrarrestar incluso el efecto negativo de la crisis financiera internacional. Mientras que por el contrario en los puertos peruanos ha habido poco incremento tecnológico derivado de la reducida inversión realizada. Además, los puertos chilenos mostraron ser menos ineficientes que los puertos peruanos, en cuanto al nivel de escala de operación.
13. La estimación de segunda etapa, con modelo tobit, respecto a las indicadores físicos de los puertos, como tasa de ocupabilidad y tiempo de rotación, resultaron ser significativos al 1% y 6.1% respectivamente. Es decir que dichos indicadores físicos resultarían ser variables determinantes del nivel de eficiencia. Sin embargo, los parámetros estimados resultaron ser pequeños. Por otro lado, cabe señalar que los índices físicos mencionados variarán entre los puertos, dependiendo de la composición del tipo de

carga que movilicen, es decir si predomina la movilización de carga contenedorizada, rodante, a granel o fraccionada, el tipo de nave que arriben, la infraestructura y la tecnología existente, la cual está asociado a cada tipo de carga (grúas, fajas transportadora de minerales, torre absorbente para granos, etc).

12.2 Recomendaciones

1. La toma de decisiones de política económica, en cuanto al factor de competencia de las futuras subastas de concesión de los puertos y los mecanismos de regulación por incentivos realizados por el organismo regulador, deberían de ser evaluadas y considerar, la mejora en el nivel de eficiencia técnica y ganancias en la productividad total de los factores. Para ello sería recomendable que los entes involucrados en la realización de política económica efectúen periódicamente mediciones de productividad y eficiencia de puertos de la región basándose en la metodología de fronteras de eficiencia.
2. El proceso de concesión del resto de puertos regionales del Perú, debería de ser evaluada y el considerar la posibilidad de concesionar de manera empaquetada, al igual que lo realizado con los aeropuertos regionales, puesto que los resultados de la investigación reportan que los puertos más eficientes se encuentran concesionados de manera aislada. Esto permitiría la mejora en eficiencia y productividad de manera integrada de los puertos de uso público del Perú.
3. Los indicadores físicos como el tiempo de rotación y el grado de ocupabilidad no deberían de ser considerados como una medida absoluta de la eficiencia de los puertos, pese a analizarse de manera conjunta. Puesto que, si bien resultan ser variables determinantes del nivel de eficiencia, estos variarían entre los puertos, dependiendo de la composición del tipo de carga que movilicen, el tipo de nave que arriben, la infraestructura y la tecnología existente.
4. La medición de Cambios en la Productividad de los Factores de los puertos de Perú no debería realizarse solamente bajo la metodología de Números Índices, tal como se mide en el Terminal portuario de Matarani, dado que dicha medición emplea los datos reportados sólo por la misma empresa en años anteriores (visión retrospectiva) y asume implícitamente que la empresa siempre se encuentra en la frontera eficiente. Asimismo, porque no es posible descomponer los cambios en productividad total de los factores y todo desplazamiento de la frontera es atribuido como cambio tecnológico.

5. Se recomienda que el Organismo Regulador mejore su contabilidad regulatoria, de tal forma que permita obtener datos de mejor calidad y más detallados para la medición de productividad y eficiencia por medio de fronteras de eficiencia. Asimismo, resultará recomendable el monitorear paulatinamente al puerto del Callao y a los principales puertos de cada país de la región con la finalidad de evaluar las ganancias en eficiencia y productividad obtenidas.
6. Sería recomendable que los entes involucrados en la realización de políticas públicas, recopilen información de los principales puertos de Latinoamérica y evalúen su desempeño mediante las metodologías de fronteras de eficiencia. Esto permitirá tener una muestra de puertos comparables al puerto del Callao y poder monitorear la ganancia en eficiencia y productividad que poseen antes del proceso de concesión y la que se espera tener en los próximos años, a raíz de la incursión de la gestión privada.

XIII. Bibliografía

Alcázar, Lorena y Rodrigo Lovatón

2005 Evaluación de la concesión del puerto de Matarani: ¿Quién ganó y quién perdió?”, Documento de Trabajo 47, Grupo para el Análisis para el Desarrollo – GRADE.

Baldwin, J. y Gu, W.

2007 Multifactor Productivity in Canada: An Evaluation of Alternative Methods of Estimating Capital Services, Statistics Canada, Minister of Industry.

Barros, C.P.

2003a Incentive Regulation and Efficiency of Portuguese Port Authorities. *Maritime Economics & Logistics* 5(1): pp 55-69.

Barros, C.P.

2003b The Measurement of Efficiency of Portuguese Seaport Authorities with DEA. *International Journal of Transport Economics* 30(3): pp. 335-354.

Barros C. P. and M. Athanassious

2004 Efficiency in European Seaports with DEA: Evidence from Greece and Portugal. *Maritime Economics & Logistics* 6: pp. 122-140.

Barros, Carlos Pestana and Shunsuke Managi

2008 Productivity Drivers in Japanese Seaport. Department of Economics, School of Economics and Management, Technical University of Lisbon.

Cullinane, Kevin, Dong-Wook Song, Richard Gray

2002 A stochastic frontier model of the efficiency of major container terminals in Asia: assessing the influence of administrative and ownership structures, *Transportation Research Part A* 36, pp 743–762.

Cullinane, K., Song, D.W., Ji, P. and Wang, T.F.

2004 An Application of DEA Windows Analysis to Container Port Production Efficiency, *Review of Network Economics*, 3, 2, 184-206.

Cullinane, K., Song, D.W., Ji, P. y Wang, T.F.

2005a The Relationship between Privatization and DEA Estimates of Efficiency in the Container Port Industry, *Journal of Economics & Business*, 57, 433-462.

Cullinane, K., Song, D.W., y Wang, T.F.

2005b The Application of Mathematical Programming Approaches to Estimating Container Port Production Efficiency, *Journal of Productivity Analysis*, 24, 73-92.

Cullinane, K., Wang, T.F., Song, D.W. y Ji, P.

2005c The Technical Efficiency of Container Ports: Comparing Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Analysis, *Transportation Research*, forthcoming

Diewer, W.E y Schereyer, P.

2006 The Measurement of Capital, Draft entry to the *New Palgrave Dictionary of Economics*.

Cullinane, Kevin, Teng-Fei Wang, Dong-Wook Song y Ping Ji

2006 The technical efficiency of container ports: Comparing data envelopment analysis and stochastic frontier analysis, *Transportation Research Part A*, Nº 40. Pp 354–374.

Doerr, Octavio y Ricardo J. Sánchez

2006 Indicadores de Productividad para la Industria Portuaria. Aplicación en América Latina y el Caribe. División de Recursos Naturales e Infraestructura, CEPAL.

Estache, Antonio, Marianela González y Lourdes Trujillo

2002 Efficiency Gains from Port Reform and the Potential for Yardstick Competition: Lessons from Mexico, *World Development* Vol. 30, No. 4, pp. 545–560.

Gonzales Serrano, María M. y Lourdes Trujillo

2005 La Medición de la Eficiencia en el Sector Portuario: revisión de la Evidencia Empírica, Universidad de las Palmas de G.C. Departamento de Análisis Económico Aplicado.

González, María Manuela, Beatriz Tovar & Lourdes Trujillo

2006 Organización y Regulación de la Industria Portuaria Europea, en *La política de transporte europea: el papel del análisis económico*. Editado por Ginés de Rus Mendoza. Fundación BBVA.

Gonzales Serrano, María M. y Lourdes Trujillo

2007 Efficiency measurement in the port industry: A survey of the empirical evidence. Department of Economics, City University and DAEA, Universidad de las Palmas de Gran Canaria.

Hulten, Charles R.

2000 Total Factor Productivity : A Short Biography, Working Paper 7471. NBER.

Jorgenson, Dale W. y Griliches, Z.

1967 The Explanation of Productivity Change, Review of Economics of Studies, 34, July, pag.349-383.

Liu, Chun-Chu

2008 Evaluating the operational efficiency of major ports in the Asia-Pacific region using data envelopment analysis, Applied Economics, Nº 40, pp. 1737–1743.

Panayides, P.M., Christos N. Maxoulis, Teng-Fei Wang y Koi Yu Adolf Ng

2009 A Critical Analysis of DEA Applications to Seaport Economic Efficiency Measurement. Transport Reviews, Vol. 29, No. 2, 183–206.

Solow, Robert

1957 Technical Change and the Aggregate Production Function. Review of Economics and Statistics, 39:312-320.

Tamayo, Gonzalo Flores y Roxana Barrantes Cáceres

2004 Modelo de Regulación Tarifaria para el Sector Portuario: Estimación del Factor de Productividad para el Terminal Portuario de Matarani, OSITRAN.

Tongzon, J.L.

2001 Efficiency Measurement of Selected Australian and Other International Ports Using Data Envelopment Analysis, Transportation Research, Part A, 35, 113-128.

Trujillo, Lourdes y Gustavo Nombela

1999 Capítulo 3 – Puertos, en Privatización y Regulación de Infraestructuras de transporte, una guía para reguladores. Editado por Antonio Estache y Ginés de Rus.

Trujillo, Lourdes y Beatriz Tovar

2007 The European port industry: an analysis of its economic efficiency. Department of Economics, City University and DAEA, Universidad de las Palmas de Gran Canaria.

OSITRAN

2009 Monitoreo de Mercado del Terminal Portuario de Paíta: Parte II, Área de Estudios Económicos – Gerencia de Regulación.

Wang, T.-F. and Cullinane, K. P. B.

2006 The efficiency of European container terminals and implications for supply chain management, Maritime Economics & Logistics, 8(1), 82–99.

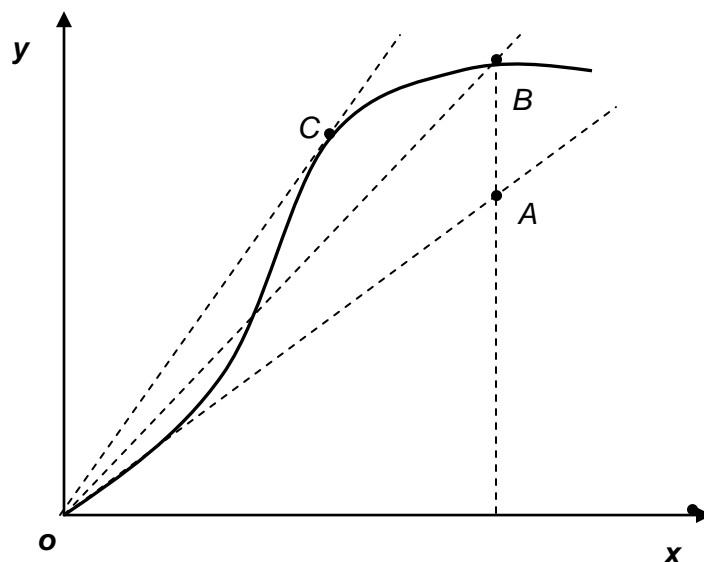
XIV. Anexos

Anexo I: Extensiones a la metodología

Anexo N° I.1: Diferencias entre Eficiencia Técnica y Productividad

La eficiencia técnica descansa en la comparación de los valores observados de productos y factores con unos valores óptimos relativos, que proceden de la evidencia proporcionada por otras empresas

Gráfico N° 17: Diferencia entre Productividad y Eficiencia



Fuente: Coelli, Prasada Rao y Battese (1998)

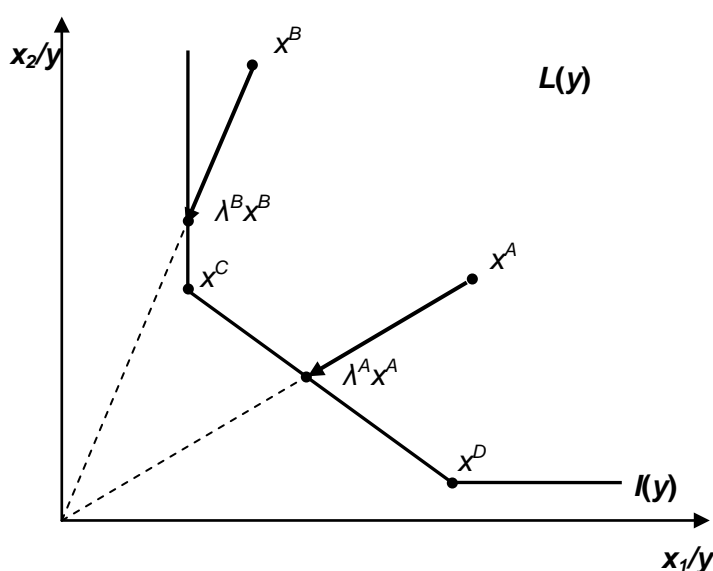
En el Gráfico N° 17 se ilustra esta diferencia que se acaba de mencionar, para un caso sencillo de un output y un input. Como se observa las unidades B y C son técnicamente eficientes puesto que operan en la frontera, en tanto que la A es ineficiente pues se sitúa por debajo de ésta. Sin embargo la productividad, entendida esta como producto medio, se mide como la pendiente de la línea recta desde el origen hasta el punto que lo representa. Como se aprecia la unidad A podría ganar en eficiencia y productividad si logra trasladarse hacia un punto como B. Por su parte B, que es técnicamente eficiente podría moverse hacia un punto como C y de esta manera ganar en productividad, es decir el punto de escala óptima.

En conclusión se puede decir que una unidad de producción podría ser técnicamente eficiente, pero todavía ser capaz de incrementar su productividad al explotar economías de escala, Coelli, Prasada Rao y Battese (1998).

Anexo N° I.2: Diferencias entre Eficiencia según Koopmas y Debreu-Farell

En los siguientes dos gráficos ilustramos en más detalle las diferencias entre las definiciones propuestas por Koopmas y Debreu-Farell para el caso de una orientación input (minimización de los inputs) y una orientación output (maximización del output).

Gráfico N° 18: Medidas de Eficiencia Técnica orientadas al input



Fuente: Basado en Fried, Lovell, Schmidt (2008)

En el Gráfico N° 18 se ilustra el caso de las medidas de eficiencia orientadas al input para el caso de dos factores de producción y un solo producto. En la isocuanta input unitaria se observa que las unidades de producción C y D resultan ser eficientes puesto que no son capaces de reducir su vector de inputs y mantener un nivel de producción “y”, mientras que las unidades de producción A y B, no son eficientes puesto que ambas son capaces de reducir radialmente sus inputs y aun poder producir el vector “y”. Es decir en medidas de eficiencia técnica Debreu-Farell tenemos que:

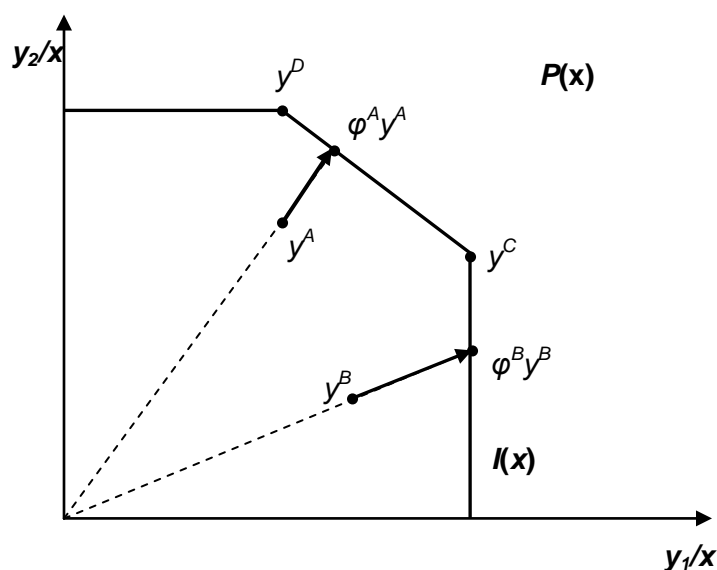
$$TE_I(y, x^C) = TE_I(y, x^D) = 1 > \max \{TE_I(y, x^A), TE_I(y, x^B)\}$$

No obstante, pese a que ambas unidades de producción (A y B) pudieran reducir radialmente sus inputs ($\lambda^A x^A$, $\lambda^B x^B$), dentro de la definición de eficiencia técnica de Koopmans, la cual es más restrictiva, la unidad de producción B no podría ser eficiente, si es que tan sólo realiza una reducción radial de su vector de inputs, puesto que esto generaría “slack”. Es decir la empresa aún podría ser capaz de reducir algunos de sus inputs (en este caso x_2) y mantener un nivel de producción “y”, ya que una unidad es considerada eficiente en el sentido de Koopmans si además de pertenecer a la isocuanta forma parte del subconjunto eficiente. De manera formal tenemos que:

$$TE_I(y, \lambda^A x^A) = TE_I(y, \lambda^B x^B) = 1 \text{ a pesar de que } \lambda^A x^A \in E(y) \text{ } \lambda^B x^B \notin E(y)$$

Análogamente, el Gráfico N° 19 se ilustra el caso de las medidas de eficiencia orientadas al output para el caso de dos productos y un solo factor de producción. En la isocuanta output unitaria se observa que las unidades de producción C y D resultan ser eficientes puesto que no son capaces de incrementar radialmente el vector de output manteniendo la misma cantidad de input “x”, mientras que las unidades de producción A y B, no son eficientes puesto que ambas son capaces de incrementar radialmente el vector de output utilizando la misma cantidad de input “x”.

Gráfico N° 19: Medidas de Eficiencia Técnica orientadas al output



Fuente: Basado en Fried, Lovell, Schmidt (2008)

No obstante, pese a que ambas unidades de producción (A y B) pudieran incrementar radialmente sus outputs ($\varphi^A y^A$, $\varphi^B y^B$), dentro de la definición de eficiencia técnica de Koopmans, la cual es más restrictiva, la unidad de producción B no podría ser eficiente, si es que tan sólo realiza una expansión radial de su vector de output, puesto que esto generaría “slack”. Es decir la empresa aún podría ser capaz de producir algunos de sus outputs (en este caso y_2) con una cantidad de insumos “x”, ya que una unidad es considerada eficiente en el sentido de Koopmans si además de pertenecer a la isocuanta forma parte del subconjunto eficiente. De manera formal tenemos que:

$$TE_0(x, \varphi^A x^A) = TE_0(x, \varphi^B x^B) = 1 \text{ a pesar de que } \varphi^A x^A \in E(y) \text{ } \varphi^B x^B \notin E(y)$$

Las medidas de eficiencia técnica Debreu-Farell han sido ampliamente empleadas, puesto que éstas presentan una reciprocidad con la función de distancia y satisface varias propiedades deseables⁴⁸. Entre estas tenemos:

- $TE_I(y, x)$ es homogénea de grado – 1 en inputs, y $TE_0(x, y)$ es homogénea de grado -1 en outputs.
- $TE_I(y, x)$ es monotonicamente decreciente débil en inputs, y $TE_0(x, y)$ es monotonicamente decreciente débil en outputs.
- $TE_I(y, x)$ y $TE_0(x, y)$ son invariantes con respecto a los cambios en unidades de medida.

Anexo Nº I.3: Investigación de Farell (1957)

En su investigación, Farrell parte de un caso sencillo, el de una empresa que emplea dos Inputs para la obtención de un único Output, y establece, entre otros, los siguientes supuestos:

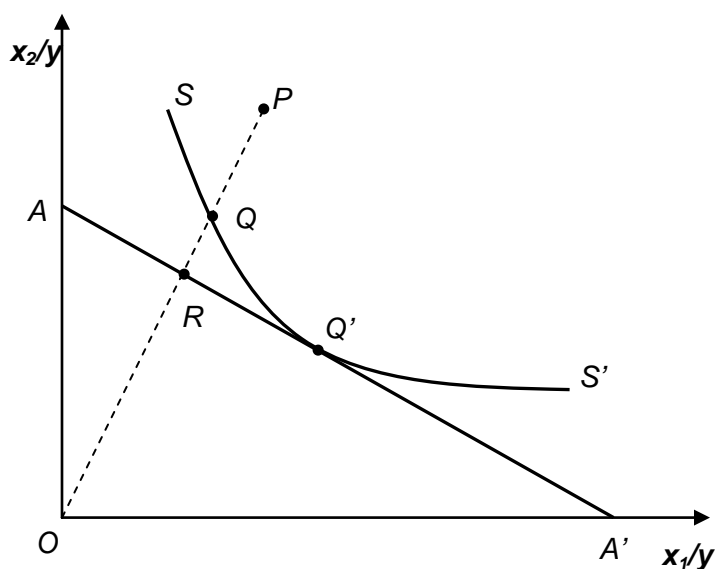
- i. Las empresas operan bajo condiciones de rendimientos constantes a escala, esto es, que el incremento porcentual del Output es igual al incremento porcentual experimentado por los Inputs. Este supuesto permite que la tecnología de producción pueda ser representada mediante la isocuanta unitaria, que identifica las distintas combinaciones de los dos factores que una empresa perfectamente eficiente podría usar para producir una unidad de Output.

⁴⁸ Shepard (1970) fue el primero en notar estas propiedades, sin embargo Russell (1988, 1990) hizo un desarrollo más completo.

- ii. Isocuanta convexa hacia el origen y con pendiente no positiva, lo que indica que el incremento en el Input por unidad de Output de un factor implica eficiencia técnica más baja.
- iii. La función de producción eficiente es conocida.

A partir de los supuestos anteriores, Farrell, haciendo uso de la curva isocuanta, define el concepto de eficiencia técnica⁴⁹, y continúa proporcionando una medida de eficiencia que tome en cuenta el uso de los diversos factores en las mejores proporciones desde el punto de vista de los precios (eficiencia precio o asignativa) para lo cual emplea una curva de isocoste, que muestra todas las posibles combinaciones de Inputs que pueden adquirirse a un coste total dado. Una empresa perfectamente eficiente (eficiencia global) será aquella que presente eficiencia técnica y eficiencia precio.

Gráfico N° 20: Eficiencia Técnica, Eficiencia Asignativa y Eficiencia Global



Fuente: Basado en Fried, Lovell, Schmidt (2008)

El Gráfico N° 20 muestra las cantidades mínimas de cada factor necesarias para producir una unidad de output, que son representadas a través de una isocuanta unitaria SS' , siendo los puntos situados por encima técnicamente ineficiente, pues existe derroche de recursos. Si consideramos como ejemplo la unidad productiva P , ésta no es eficiente, puesto que el output

⁴⁹ Dicho concepto fue definido anteriormente

podría ser obtenido utilizando una cantidad inferior de inputs sin variar la combinación de los mismos, mientras que la unidad Q es técnicamente eficiente.

La ineficiencia técnica en la que incurre la unidad P puede definirse mediante el ratio OQ/OP . Resultado de ello tenemos que, la unidad de producción deberá reducir: $1-OQ/OP$ para lograr ser eficiente. Por el contrario, la unidad de producción Q si es eficiente, pues se sitúa en la isocuanta: $OQ/OQ = 1$.

Por otro lado, en cuanto a la eficiencia asignativa, si asumimos que los precios de los factores productivos son conocidos y están representados por la pendiente de puntos AA' (la cual contiene las diferentes combinaciones lineales de inputs que pueden ser adquirido con un determinado costo), la capacidad de la unidad P para utilizar sus inputs de manera óptima, teniendo en cuenta sus precios relativos, se define a través del ratio OR/OQ , siendo la ineficiencia asignativa $1-OR/OQ$. La distancia RQ representa la reducción necesaria que debe producirse en los costos de producción para alcanzar el punto Q' en el que éstos son mínimos. Tanto Q como Q' son eficientes técnicamente por estar situados sobre la isocuanta, pero los costos de producción en Q' son inferiores, de modo que Q es ineficiente en sentido asignativo, mientras que Q' presenta eficiencia global (técnico y asignativo). Esta medida de eficiencia técnica global queda representada como el producto de la eficiencia técnica (ET) y la eficiencia asignativa (EA)

$$EG = ET.EA$$

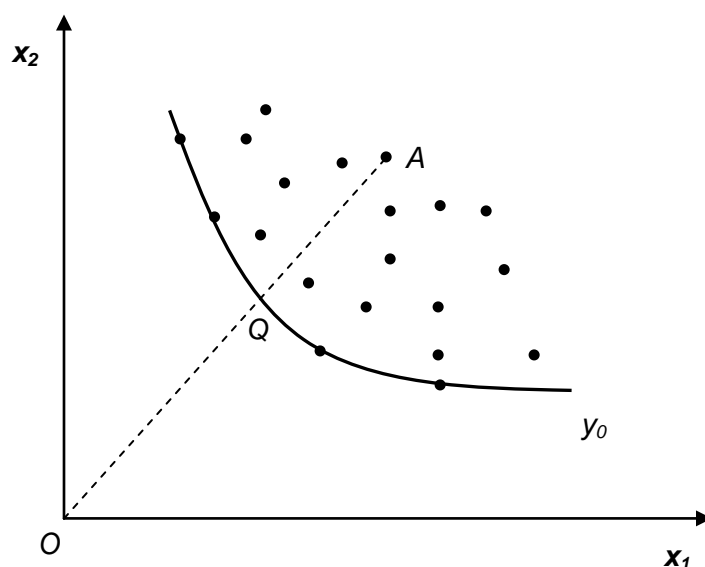
Es decir:

$$\frac{OR}{OP} = \left(\frac{OQ}{OP} \right) \left(\frac{OR}{OQ} \right)$$

Todo lo analizado anteriormente esta bajo el supuesto que la función de producción es conocida, representada por medio de la isocuanta SS' , la cual constituye el punto de referencia para el cálculo de las medidas de eficiencia. Sin embargo las relaciones tecnológicas resultan desconocidas en la mayoría de los casos, lo cual complica la medición de la eficiencia.

En su artículo original Farell considera la estimación de la isocuanta eficiente por medio de los datos de las unidades evaluadas, es decir se construye una función de producción empírica.

Gráfico N° 21: Medición empírica del concepto de eficiencia



Fuente: Basado en Fried, Lovell, Schmidt (2008)

Los supuestos planteados por Farell para estimar la isocuanta son convexidad y que ésta no tenga pendiente positiva en ningún punto. El Supuesto de convexidad es planteada por lo general en la teoría microeconomía, mientras que el supuesto de que la isocuanta no tenga pendiente positiva es fundamental para asegurar que no exista nunca una reducción en la cantidad de producto, ante un aumento de los factores de producción utilizados.

Como se aprecia en la Gráfico N° 21 la isocuanta eficiente es obtenida por la curva y_0 , que representan el conjunto de puntos más próximos al origen. Una vez obtenida la isocuanta eficiente, el método empleado para calcular las medidas de eficiencia técnica es el mismo que se explica anteriormente. Es decir lo que se busca es comparar cada unidad de producción que no se encuentra en la frontera con otra entidad eficiente que utilice los mismos factores productivos en la misma proporción (esto es, que se encuentre en el mismo radio vector desde el origen), que puede ser real o hipotética, gracias al supuesto de convexidad.

Si analizamos la unidad de producción A del Gráfico N° 21, esta sería comparada con la unidad ficticia Q (la cual resulta de un promedio ponderado de las unidades reales que delimitan el tramo que las define). Siendo la frontera propuesta por Farell una construcción de las unidades productivas reales que utilizan las menores cantidades de inputs y por un conjunto de unidades hipotéticas.

Anexo N° I.4: Modelo Dea de Charner, Cooper y Rhodes (1978) en su Forma Fraccional y Multiplicativa

a) Modelo DEA-CCR en forma Fraccional

El modelo DEA en su forma fraccional hace referencia a la maximización o minimización, según su orientación, de un ratio de productividad total para cada DMU. La eficiencia de cada DMU depende de su capacidad de producción para mejorar sus resultados o reducir el insumo de recursos, sujeto a unas restricciones que reflejen la actividad del resto de productores.

El modelo DEA-CCR con orientación al input expresados en términos de cocientes, es decir su forma fraccional sería:

$$\begin{aligned} \underset{u,v}{Max} \quad h_0 &= \frac{\sum_{j=1}^m u_j y_{j0}}{\sum_{i=1}^n v_i x_{i0}} \\ s.a : \\ \frac{\sum_{j=1}^m u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^n v_i x_{ik}} &\leq 1 \quad k = 1, \dots, N \\ u_j, v_i &\geq 0 \end{aligned}$$

Donde:

1. h_0 representa la eficiencia técnica de la analizada.
2. Se consideran k DMUs, donde $k=1, \dots, N$. Cada DMU utiliza los mismos inputs (en diferentes cantidades) para obtener los mismos outputs (en diferentes cantidades).
3. x_{ik} representa la cantidad de input i consumidos por la k -ésima DMU.
4. x_{i0} representa la cantidad de input i de la DMU analizada.
5. y_{jk} representa la cantidad de output j consumidos por la k -ésima DMU.
6. y_{j0} representa la cantidad de input j que obtiene la DMU analizada.
7. u_j y v_j representan los multiplicadores de los outputs en inputs respectivamente.

En otras palabras el DEA en su forma fraccional busca encontrar el conjunto óptimo de multiplicadores (u_j y v_j) que maximicen la eficiencia técnica de la DMU₀ (h_0), definida como el cociente entre la suma ponderada de outputs y la suma ponderada de inputs, sujeto a que ninguna DMU puede tener un nivel de eficiencia mayor que uno usando esos mismos multiplicadores.

Mientras h_0 tienda a 1, la DMU_0 resultara más eficiente. Y en el caso en que $h_0=1$, esto indicara que la DMU_0 es eficiente en relación con las otras DMU , mientras que si ésta presenta un $h_0<1$ será catalogada como ineficiente. Las DMU , que con los mismos multiplicadores asignados a la unidad eficiente resulte ser eficiente, se denominan “peers”. Y éstos constituyen la unidad de referencia de la DMU ineficiente.

Un año después de ésta publicación, Charnes, Cooper y Rhodes sustituyen la condición de no negatividad de los multiplicadores por la de positividad estricta, es decir $u_j, v_j \geq \varepsilon$, donde ε es un infinitesimo no arquimedeeo, es decir un número muy pequeño. El motivo de este cambio es evitar que las unidad que obtengan un $h_0=1$, sean categorizada erróneamente como ineficiente, por no utilizar alguno de los inputs.

Es decir el modelo fraccional queda expresado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 \underset{u,v}{Max} \quad h_0 &= \frac{\sum_{j=1}^m u_j y_{j0}}{\sum_{i=1}^n v_i x_{i0}} \\
 s.a : \\
 \frac{\sum_{j=1}^m u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^n v_i x_{ik}} &\leq 1 \quad k = 1, \dots, N \\
 u_j, v_i &\geq \varepsilon
 \end{aligned}$$

El modelo deberá ser resuelto para las k -ésimas empresas, teniendo un total de N . Los multiplicadores óptimos diferirán entre las $DMUs$, siendo estos los mejores multiplicadores que maximicen su eficiencia.

Sin embargo el programa planteado genera el problema de multiplicidad de ponderadores óptimos, puesto que si u_j^*, v_j^* son ponderadores óptimos, entonces cualquier $\lambda u_j^*, \lambda v_j^*$ será también óptimo para $\lambda > 0$ ⁵⁰.

Por otro lado, si elegimos el DEA-CCR con orientación output, prácticamente equivale a invertir el cociente entre el output virtual (output total) y el input virtual (input total). De tal manera que el modelo quedaría expresado de la siguiente manera:

⁵⁰ Para mayor referencia la respecto ver Charnes, Cooper, Lewin y Seiford (1994) ó Seiford y Thrall (1990)

$$\begin{aligned}
\underset{u,v}{Min} \quad h_0 &= \frac{\sum_{i=1}^n v_i x_{i0}}{\sum_{j=1}^m u_j y_{j0}} \\
s.a : \\
\frac{\sum_{i=1}^n v_i x_{ik}}{\sum_{j=1}^m u_j y_{jk}} &\geq 1 \quad k = 1, \dots, N \\
u_j, v_i &\geq \varepsilon
\end{aligned}$$

b) Modelo DEA-CCR en forma multiplicativa

El programa fraccional, mostrado anteriormente, puede transformarse fácilmente en un programa lineal, lo cual nos facilitaría su resolución (Charnes y Cooper 1962) que selecciona la solución μ, δ para que $\sum_{j=1}^m \delta_j x_{j0} = 1$. Realizando este cambio de variable⁵¹, para una orientación input, se tiene:

$$\begin{aligned}
\mu_j &= t \cdot u_j \\
\delta_i &= t \cdot v_i \\
t &= \frac{1}{\sum_{i=1}^n v_i x_{i0}}
\end{aligned}$$

El modelo fraccional quedará expresado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
\underset{\mu, \delta}{Max} \quad w_0 &= \sum_{j=1}^m \mu_j y_{j0} \\
s.a : \\
\sum_{i=1}^n \delta_i x_{i0} &= 1 \\
\sum_{j=1}^m \mu_j y_{jk} - \sum_{i=1}^n \delta_i x_{ik} &\leq 0 \quad k = 1, \dots, N \\
\mu_j, \delta_i &\geq \varepsilon
\end{aligned}$$

Donde: $\sum_{i=1}^n \delta_i x_{i0} = 1$ es la restricción de normalización.

⁵¹ Charnes, Cooper y Rhodes 1978; Oral y Yolalan 1990; Cook Johnston y McCutcheon 1992

Nuevamente, se debe de calcular estas medidas de eficiencia para cada empresa, teniendo un total de N. La diferencia es que en este caso los ponderadores que maximicen w_0 serán los multiplicadores estandarizados (μ, δ) .

Asimismo w_0 representa el nivel de eficiencia relativa, y cuando éste sea igual a uno, la DMU₀ será calificada como eficiente, es decir existe al menos un óptimo (μ^*, δ^*) con $\mu^* > 0$ y $\delta^* > 0$ ⁵², mientras que, un $w_0 < 1$, nos representará que la firma es ineficiente y existirá al menos una

DMU que satisfaga $\sum_{j=1}^m \mu_j y_{jk} = \sum_{i=1}^n \delta_i x_{ik}$, para los mismos ponderadores. El conjunto de unidades que logre satisfacer dicha restricción, y que serán por tanto eficientes, constituyen el conjunto de referencia de la unidad evaluada.

Por otro lado, si elegimos el DEA-CCR con orientación output, utilizando la transformación de Charnes y Cooper 1962. el modelo en su forma multiplicativa quedaría expresado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \underset{\mu, \delta}{Min} \quad w_0 &= \sum_{j=1}^m \delta_j x_{j0} \\ \text{s.a:} \quad & \\ \sum_{i=1}^n \mu_i y_{i0} &= 1 \\ \sum_{i=1}^n \delta_i x_{ik} - \sum_{j=1}^m \mu_j y_{jk} &\geq 0 \quad k=1, \dots, N \\ \mu_j, \delta_i &\geq \varepsilon \end{aligned}$$

Anexo N° 1.5: Modelo DEA de Banker, Charnes y Cooper (1984) en su Forma Fraccional y Multiplicativa

a) Modelo DEA-BCC en forma Fraccional

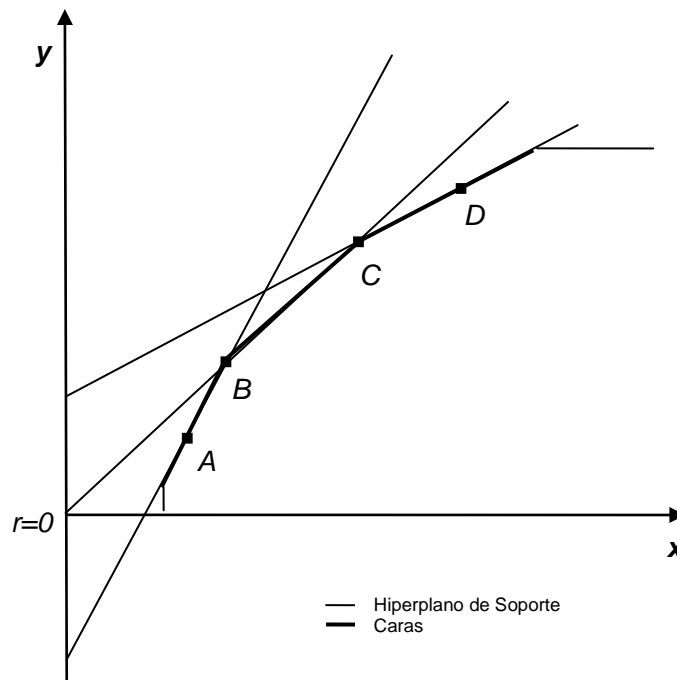
La versión del modelo DEA-BCC con orientación input, viene representada por:

⁵² Cooper, Seiford y Tone (2000)

$$\begin{aligned}
 \text{Max}_{u,v,r} \quad h_0 &= \frac{\sum_{j=1}^m u_j y_{j0} + r_0}{\sum_{i=1}^n v_i x_{i0}} \\
 \text{s.a :} \\
 \frac{\sum_{j=1}^m u_j y_{jk} + r_0}{\sum_{i=1}^n v_i x_{ik}} &\leq 1 \quad k = 1, \dots, N \\
 u_j, v_i &\geq \varepsilon \\
 r_0 &\text{ no restringida}
 \end{aligned}$$

La diferencia entre DEA- CCR y el DEA- BCC en su forma fraccional reside en que este último se le suma un término constante al output virtual (r_0), que en el modelo con rendimientos constantes a escala $r_0=0$.

Gráfico N° 22: Diferencia entre la frontera RCE y RVE



Fuente: Coelli, Prasada Rao y Battese (1998)

En el Gráfico N° 22 la frontera con RVE se construye con el cambio en el término constante (k). Éste término constante es el valor del intercepto en el eje output (y) de la proyección de cada segmento (o cara) que define la frontera.

Por lo tanto si:

- $r_0 > 0$, para todas las soluciones óptimas, prevalecen rendimientos crecientes a escala
- $r_0 = 0$, para todas las soluciones óptimas, prevalecen rendimientos constantes a escala
- $r_0 < 0$, para todas las soluciones óptimas, prevalecen rendimientos decrecientes a escala.

Por otro lado, si elegimos el DEA-BCC con orientación output, prácticamente equivale a invertir el cociente entre el output virtual (output total) y el input virtual (input total). De tal manera que el modelo quedaría expresado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 \underset{u,v,r}{Min} \quad h_0 &= \frac{\sum_{i=1}^n v_i x_{i0} + r_0}{\sum_{j=1}^m u_j y_{j0}} \\
 \text{s.a:} \\
 \frac{\sum_{i=1}^n v_i x_{ik} + r_0}{\sum_{j=1}^m u_j y_{jk}} &\geq 1 \quad k = 1, \dots, N \\
 u_j, v_i &\geq \varepsilon \\
 r_0 &\text{ no restringida}
 \end{aligned}$$

Por lo tanto, como sucedía en el caso de una orientación input, el signo que tome r_0 en la solución óptima indicará el tipo de rendimiento a escala que prevalece para una *DMU* que se encuentre, o sea proyectada sobre, la frontera eficiente. Sin embargo, la diferencia del caso input orientado es que el signo del término constante esta invertido de forma que:

- $r_0 > 0$, para todas las soluciones óptimas, prevalecen rendimientos decrecientes a escala
- $r_0 = 0$, para todas las soluciones óptimas, prevalecen rendimientos constantes a escala
- $r_0 < 0$, para todas las soluciones óptimas, prevalecen rendimientos crecientes a escala.

Norman y Stoker (1991), al ver que podría existir una posible confusión al interpretar r_0 , propone que en el modelo output orientado la constante sea introducida con signo negativo de modo que se tendría:

$$h_0 = \frac{\sum_{i=1}^n v_i x_{i0} - r_0}{\sum_{j=1}^m u_j y_{j0}}$$

Siendo esta vez la interpretación de r_0 la misma que en el modelo DEA-BCC orientado al input. Dicha interpretación permitió demostrar que la medida de eficiencia basada en la minimización ya nos es equivalente a la medida de eficiencia basada en la maximización output, al menos que existan RCE

b) **Modelo DEA-BCC en forma multiplicativa**

La forma multiplicativa de éste modelo DEA-BCC orientado al input, viene representada por:

$$\begin{aligned} \underset{\mu, \delta, r}{Max} \quad w_0 &= \sum_{j=1}^m \mu_j y_{j0} + r_0 \\ \text{s.a:} \\ \sum_{i=1}^n \delta_i x_{i0} &= 1 \\ \sum_{j=1}^m \mu_j y_{jk} - \sum_{i=1}^n \delta_i x_{ik} + r_0 &\leq 0 \quad k = 1, \dots, N \\ \mu_j, \delta_i &\geq \varepsilon \\ r_0 &\text{ no restringida} \end{aligned}$$

El objetivo del modelo DEA-BCC con orientación input es encontrar un hiperplano que permaneciendo sobre o por encima de todas las DMU, minimice la distancia horizontal desde el hiperplano a la DMU₀ (la unidad evaluada).

Por otro lado, si elegimos el DEA-BCC con orientación output, el modelo linealizado en su forma multiplicativa según Norman y Stoker (1991), quedaría expresado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
& \underset{\mu, \delta, r}{Min} \quad w_0 = \sum_{j=1}^m \delta_j x_{j0} - r_0 \\
& s.a : \\
& \sum_{i=1}^n \mu_i y_{i0} = 1 \\
& \sum_{i=1}^n \delta_i x_{ik} - \sum_{j=1}^m \mu_j y_{jk} - r_0 \geq 0 \quad k = 1, \dots, N \\
& \mu_j, \delta_i \geq \varepsilon \\
& r_0 \text{ no restringida}
\end{aligned}$$

Anexo N° I.6: Método de Remuestreo por Bootstrap

El bootstrap tiene su origen en el trabajo de Efron (1979), caracterizado por ser un método basado en cálculos intensivos destinados a obtener medidas de la precisión de los estimadores. La diferencia entre el método tradicional paramétrico es que el bootstrap emplea un gran número de cálculos repetitivos para estimar la forma de la distribución muestral de los estadísticos, en lugar de aceptar fuertes asunciones sobre dicha distribución. De tal forma resulta posible hacer inferencias en aquellos casos en los que tales asunciones son difíciles de sostener

El algoritmo bootstrap más sencillo es el conocido como “naive bootstrap”, sin embargo su aplicación en la estimación del tipo frontera no resulta válida, ya que dicha estructura no permite calcular las medidas radiales de eficiencia definidas por Farell. Por lo tanto se hace necesaria la introducción de algunas modificaciones en el bootstrap tradicional para evitar problemas de inconsistencia en las estimaciones.

El trabajo de Simar (1992) fue el primero en plantear esta cuestión, proponiendo un mecanismo que permita estimar los intervalos de confianza de los índices de eficiencia, aunque en su aplicación se utilizaba el FDH⁵³ en lugar del DEA. Posteriormente, surgieron otros trabajos que abordaron cuestiones específicas dentro de este contexto⁵⁴, hasta que Simar y Wilson (1998; 2000a) desarrollaron un mecanismo específico para generar distribuciones empíricas de los índices de eficiencia obtenidos mediante métodos de frontera no paramétricos.

⁵³ Abreviatura del modelo no paramétrico “Free Disposal Hull”

⁵⁴ Así, Hall, Härdle y Simar (1995) plantearon un bootstrap iterativo para incrementar la precisión de los intervalos de confianza en el contexto de la estimación de fronteras con datos de panel; Atkinson y Wilson (1995) propusieron una metodología para construir intervalos de confianza en muestras de reducido tamaño y Ferrier y Hirschberg (1997) plantearon un modelo que permitía calcular el sesgo en el que incurren los índices de eficiencia obtenidos con el DEA.

Ello consideran la necesidad de definir un modelo estadístico específico o Proceso Generador de Datos (PGD) que se ajuste a las características del proceso de medición de la eficiencia, en el que se emplee como referencia una frontera formada por las mejores prácticas observadas para poder garantizar que los estimadores bootstrap obtenidos sean válidos.

El algoritmo planteado por Simar y Wilson está compuesto por los siguientes pasos:

1. Se calcula el índice de eficiencia ($\hat{\theta}_k$) para cada una de las DMU , mediante el DEA .
2. A partir de la distribución (F_{est}) se extrae una muestra aleatoria simple de tamaño s con reposición: $(\hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_s)$.
3. Si el modelo está orientado al output: se genera una pseudos muestra $X^* = \{x_i^*, y_i\}$, corrigiendo los valores de los outputs, mediante la siguiente expresión $y_i^* = \frac{\hat{\theta}_i}{\theta_i^*} y_i$. Si el modelo está orientado al input: se genera una pseudos muestra $Y^* = \{x_i, y_i^*\}$, corrigiendo los valores de los inputs, mediante la siguiente expresión $y_i^* = \frac{\hat{\theta}_i}{\theta_i^*} y_i$.
4. Se vuelve a calcular las estimaciones de los índices de eficiencia utilizando los nuevos valores ajustados de los inputs (si la orientación es al output) o outputs (si la orientación es al input).
5. Se repiten los pasos 2, 3 y 4 M veces, siendo M un número suficientemente grande. De esta manera se obtienen M diferentes estadísticos bootstrap de los índices de eficiencia.
6. Se calcula una distribución de probabilidad a partir de los estadísticos asignando una probabilidad $1/M$ a cada uno, a partir de la cual pueden calcularse los intervalos de confianza y el valor medio de los estimadores bootstrap: $\overline{\hat{\theta}_i^*} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \hat{\theta}_m^*$.

Mediante la realización de diferentes estudios de Monte-Carlo, se ha probado que el algoritmo nos permite obtener unos estimadores insesgados y consistentes de los índices de eficiencia.

Anexo II: Cambios en Productividad por Año. IPM: Perú (2002-2009)

Cambios en la Productividad Total de los Factores año 2003-2002					
Puerto	CE	CT	CEP	CEE	IPM
Chimbote	1.211	0.860	1.000	1.211	1.041
Ilo	0.763	1.002	1.133	0.674	0.765
Matarani	0.979	0.956	1.227	0.798	0.936
Paíta	1.000	1.234	1.000	1.000	1.234
Salaverry	1.734	0.943	1.279	1.355	1.635
Gral. San Martín	1.000	0.943	1.000	1.000	0.943
Callao	1.000	1.129	1.000	1.000	1.129
Promedio	1.066	1.003	1.086	0.982	1.070

Cambios en la productividad total de los factores año 2004-2003					
Puerto	CE	CT	CEP	CEE	IPM
Chimbote	1.970	0.903	1.000	1.970	1.779
Ilo	1.136	0.959	1.000	1.136	1.089
Matarani	1.106	0.901	1.000	1.106	0.997
Paíta	1.000	1.183	1.000	1.000	1.183
Salaverry	1.161	0.900	1.053	1.103	1.045
Gral. San Martín	1.000	0.896	1.000	1.000	0.896
Callao	1.000	1.279	1.000	1.000	1.279
Promedio	1.163	0.993	1.007	1.154	1.155

Cambios en la productividad total de los factores año 2005-2004					
Puerto	CE	CT	CEP	CEE	IPM
Chimbote	0.797	1.258	1.000	0.797	1.003
Ilo	0.634	1.286	1.000	0.634	0.815
Matarani	0.789	1.285	0.876	0.901	1.014
Paíta	1.000	1.083	1.000	1.000	1.083
Salaverry	0.931	1.259	0.993	0.938	1.172
Gral. San Martín	1.000	1.291	1.000	1.000	1.291
Callao	1.000	1.101	1.000	1.000	1.101
Promedio	0.868	1.220	0.980	0.885	1.059

Cambios en la productividad total de los factores año 2006-2005					
Puerto	CE	CT	CEP	CEE	IPM
Chimbote	0.484	1.081	1.000	0.484	0.523
Ilo	1.992	1.091	0.985	2.022	2.174
Matarani	1.026	1.014	1.142	0.899	1.041
Paíta	1.000	1.151	1.000	1.000	1.151
Salaverry	1.074	1.055	1.007	1.066	1.133
Gral. San Martín	1.000	0.978	1.000	1.000	0.978
Callao	1.000	1.102	1.000	1.000	1.102
Promedio	1.009	1.066	1.018	0.991	1.075

Cambios en la productividad total de los factores año 2007-2006					
Puerto	CE	CT	CEP	CEE	IPM
Chimbote	0.542	1.072	1.000	0.542	0.582
Ilo	1.086	1.079	1.015	1.070	1.172
Matarani	1.218	1.063	1.000	1.218	1.295
Paíta	1.000	1.088	1.000	1.000	1.088
Salaverry	1.000	1.096	1.000	1.000	1.096
Gral. San Martín	1.000	0.890	1.000	1.000	0.890
Callao	1.000	0.900	1.000	1.000	0.900
Promedio	0.954	1.023	1.002	0.952	0.976

Cambios en la productividad total de los factores año 2008-2007					
Puerto	CE	CT	CEP	CEE	IPM
Chimbote	1.003	1.170	0.836	1.200	1.174
Ilo	1.108	1.249	1.000	1.108	1.384
Matarani	0.724	1.132	1.000	0.724	0.820
Paíta	1.000	1.273	1.000	1.000	1.273
Salaverry	0.835	1.065	0.984	0.849	0.889
Gral. San Martín	1.000	1.469	1.000	1.000	1.469
Callao	1.000	1.099	1.000	1.000	1.099
Promedio	0.945	1.202	0.973	0.972	1.136

Cambios en la productividad total de los factores año 2009-2008					
Puerto	CE	CT	CEP	CEE	IPM
Chimbote	1.363	0.867	0.989	1.378	1.182
Ilo	0.567	0.838	0.906	0.626	0.475
Matarani	0.962	0.924	1.000	0.962	0.889
Paita	1.000	0.826	1.000	1.000	0.826
Salaverry	1.197	0.936	1.016	1.178	1.121
Gral. San Martín	1.000	0.777	1.000	1.000	0.777
Callao	0.957	0.695	1.000	0.957	0.666
Promedio	0.977	0.834	0.987	0.991	0.815

Anexo III Cambios en Productividad por Año. IPM: Perú y Chile (2004 – 2009)

Cambios en la Productividad Total de los Factores año 2005-2004					
Puerto	CE	CT	CEP	CEE	IPM
Callao	1.134	0.985	1.000	1.134	1.117
Chimbote	0.829	1.046	1.045	0.793	0.867
Gral. San Martín	0.757	1.650	0.757	1.000	1.249
Ilo	0.671	1.102	1.020	0.658	0.740
Paita	1.076	1.035	1.000	1.076	1.114
Salaverry	1.001	1.046	1.072	0.934	1.047
Matarani	0.801	1.147	0.652	1.228	0.919
PERU	0.881	1.128	0.921	0.956	0.994
Angamos	1.000	1.260	1.000	1.000	1.260
ATI	0.611	1.138	0.297	2.058	0.695
ITI	0.748	1.046	0.747	1.001	0.782
San Vicente	1.372	0.968	1.391	0.986	1.328
STI	1.000	1.126	1.000	1.000	1.126
TPA	0.292	0.726	0.307	0.949	0.212
TPS	0.844	0.982	0.910	0.928	0.829
CHILE	0.766	1.022	0.705	1.087	0.783
TOTAL	0.821	1.074	0.806	1.019	0.882

Cambios en la Productividad Total de los Factores año 2006-2005					
Puerto	CE	CT	CEP	CEE	IPM
Callao	0.826	1.363	1.000	0.826	1.126
Chimbote	0.492	0.991	1.031	0.477	0.488
Gral. San Martín	0.982	0.997	0.987	0.995	0.978
Ilo	3.431	0.960	1.000	3.431	3.293
Paita	1.000	1.141	1.000	1.000	1.141
Salaverry	1.145	0.934	1.000	1.145	1.069
Matarani	1.117	0.934	1.811	0.617	1.044
PERU	1.083	1.037	1.091	0.993	1.123
Angamos	1.000	1.268	1.000	1.000	1.268
ATI	0.697	1.061	1.366	0.510	0.739
ITI	1.118	0.938	1.060	1.055	1.049
San Vicente	1.093	1.363	1.269	0.861	1.491
STI	1.000	0.832	1.000	1.000	0.832
TPA	0.802	1.204	0.806	0.995	0.965
TPS	1.044	1.155	1.099	0.950	1.205
CHILE	0.953	1.103	1.072	0.889	1.051
TOTAL	1.016	1.069	1.082	0.939	1.087

Cambios en la Productividad Total de los Factores año 2007-2006					
Puerto	CE	CT	CEP	CEE	IPM
Callao	0.584	1.581	1.000	0.584	0.923
Chimbote	0.616	1.004	1.113	0.554	0.619
Gral. San Martín	0.892	0.950	1.186	0.752	0.847
Ilo	1.191	1.106	1.152	1.034	1.317
Paita	0.976	1.115	0.983	0.993	1.088
Salaverry	1.169	0.950	1.187	0.985	1.110
Matarani	1.370	0.950	1.060	1.292	1.302
PERU	0.929	1.077	1.094	0.849	1.000
Angamos	1.000	1.633	1.000	1.000	1.633
ATI	1.040	1.098	0.516	2.014	1.142
ITI	1.049	1.084	1.035	1.013	1.137
San Vicente	0.584	1.817	1.108	0.527	1.062
STI	0.815	1.001	1.000	0.815	0.816
TPA	0.968	1.169	0.920	1.052	1.132
TPS	1.135	1.114	1.000	1.135	1.264
CHILE	0.923	1.244	0.917	1.006	1.148
TOTAL	0.926	1.157	1.002	0.924	1.072

Cambios en la Productividad Total de los Factores año 2008-2007					
Puerto	CE	CT	CEP	CEE	IPM
Callao	2.075	0.533	1.000	2.075	1.105
Chimbote	1.318	0.923	0.925	1.425	1.217
Gral. San Martín	2.060	0.700	1.393	1.479	1.441
Ilo	1.125	1.212	1.193	0.944	1.364
Paita	1.025	1.249	1.017	1.007	1.279
Salaverry	0.964	0.923	1.229	0.784	0.890
Matarani	0.857	0.923	1.000	0.857	0.791
PERU	1.271	0.891	1.098	1.158	1.132
Angamos	1.000	0.460	1.000	1.000	0.460
ATI	1.014	0.834	1.062	0.954	0.845
ITI	0.911	1.257	1.018	0.896	1.146
San Vicente	1.634	0.581	0.785	2.083	0.949
STI	0.925	1.182	1.000	0.925	1.094
TPA	0.790	1.076	0.831	0.951	0.851
TPS	0.824	1.270	1.000	0.824	1.046
CHILE	0.986	0.893	0.951	1.037	0.881
TOTAL	1.120	0.892	1.022	1.096	0.999

Cambios en la Productividad Total de los Factores año 2009-2008					
Puerto	CE	CT	CEP	CEE	IPM
Callao	0.741	0.845	1.000	0.741	0.626
Chimbote	1.096	0.937	1.076	1.019	1.027
Gral. San Martín	0.924	0.830	1.000	0.924	0.767
Ilo	0.343	0.871	0.960	0.357	0.299
Paita	1.000	0.824	1.000	1.000	0.824
Salaverry	1.287	0.937	1.007	1.277	1.206
Matarani	0.946	0.937	0.918	1.031	0.887
PERU	0.847	0.882	0.993	0.853	0.747
Angamos	1.000	0.992	1.000	1.000	0.992
ATI	1.012	0.977	1.072	0.944	0.989
ITI	0.897	0.885	0.933	0.962	0.795
San Vicente	0.946	0.787	1.128	0.838	0.745
STI	1.025	0.899	1.000	1.025	0.921
TPA	1.119	0.898	1.083	1.034	1.005
TPS	0.808	0.838	1.000	0.808	0.677
CHILE	0.968	0.894	1.029	0.941	0.866
TOTAL	0.906	0.888	1.011	0.896	0.804

Anexo IV Cambios en Productividad por Año. IPM: Público y Privado (2004-2009)

Cambios en la Productividad Total de los Factores año 2005-2004					
Puerto	CE	CT	CEP	CEE	IPM
Callao	1.134	0.985	1.000	1.134	1.117
Chimbote	0.829	1.046	1.045	0.793	0.867
Gral. San Martín	0.757	1.650	0.757	1.000	1.249
Ilo	0.671	1.102	1.020	0.658	0.740
Paita	1.076	1.035	1.000	1.076	1.114
Salaverry	1.001	1.046	1.072	0.934	1.047
PÚBLICO	0.895	1.125	0.976	0.917	1.007
Matarani	0.801	1.147	0.652	1.228	0.919
Angamos	1.000	1.260	1.000	1.000	1.260
ATI	0.611	1.138	0.297	2.058	0.695
ITI	0.748	1.046	0.747	1.001	0.782
San Vicente	1.372	0.968	1.391	0.986	1.328
STI	1.000	1.126	1.000	1.000	1.126
TPA	0.292	0.726	0.307	0.949	0.212
TPS	0.844	0.982	0.910	0.928	0.829
PRIVADO	0.770	1.037	0.698	1.103	0.799
TOTAL	0.821	1.074	0.806	1.019	0.882

Cambios en la Productividad Total de los Factores año 2006-2005					
Puerto	CE	CT	CEP	CEE	IPM
Callao	0.826	1.363	1.000	0.826	1.126
Chimbote	0.492	0.991	1.031	0.477	0.488
Gral. San Martín	0.982	0.997	0.987	0.995	0.978
Ilo	3.431	0.960	1.000	3.431	3.293
Paita	1.000	1.141	1.000	1.000	1.141
Salaverry	1.145	0.934	1.000	1.145	1.069
PÚBLICO	1.078	1.055	1.003	1.075	1.137
Matarani	1.117	0.934	1.811	0.617	1.044
Angamos	1.000	1.268	1.000	1.000	1.268
ATI	0.697	1.061	1.366	0.510	0.739
ITI	1.118	0.938	1.060	1.055	1.049
San Vicente	1.093	1.363	1.269	0.861	1.491
STI	1.000	0.832	1.000	1.000	0.832
TPA	0.802	1.204	0.806	0.995	0.965
TPS	1.044	1.155	1.099	0.950	1.205
PRIVADO	0.972	1.081	1.145	0.849	1.050
TOTAL	1.016	1.069	1.082	0.939	1.087

Cambios en la Productividad Total de los Factores año 2007-2006					
Puerto	CE	CT	CEP	CEE	IPM
Callao	0.584	1.581	1.000	0.584	0.923
Chimbote	0.616	1.004	1.113	0.554	0.619
Gral. San Martín	0.892	0.950	1.186	0.752	0.847
Ilo	1.191	1.106	1.152	1.034	1.317
Paita	0.976	1.115	0.983	0.993	1.088
Salaverry	1.169	0.950	1.187	0.985	1.110
PÚBLICO	0.871	1.099	1.100	0.792	0.957
Matarani	1.370	0.950	1.060	1.292	1.302
Angamos	1.000	1.633	1.000	1.000	1.633
ATI	1.040	1.098	0.516	2.014	1.142
ITI	1.049	1.084	1.035	1.013	1.137
San Vicente	0.584	1.817	1.108	0.527	1.062
STI	0.815	1.001	1.000	0.815	0.816
TPA	0.968	1.169	0.920	1.052	1.132
TPS	1.135	1.114	1.000	1.135	1.264
PRIVADO	0.970	1.203	0.934	1.038	1.166
TOTAL	0.926	1.157	1.002	0.924	1.072

Cambios en la Productividad Total de los Factores año 2008-2007					
Puerto	CE	CT	CEP	CEE	IPM
Callao	2.075	0.533	1.000	2.075	1.105
Chimbote	1.318	0.923	0.925	1.425	1.217
Gral. San Martín	2.060	0.700	1.393	1.479	1.441
Ilo	1.125	1.212	1.193	0.944	1.364
Paita	1.025	1.249	1.017	1.007	1.279
Salaverry	0.964	0.923	1.229	0.784	0.890
PÚBLICO	1.358	0.885	1.115	1.218	1.202
Matarani	0.857	0.923	1.000	0.857	0.791
Angamos	1.000	0.460	1.000	1.000	0.460
ATI	1.014	0.834	1.062	0.954	0.845
ITI	0.911	1.257	1.018	0.896	1.146
San Vicente	1.634	0.581	0.785	2.083	0.949
STI	0.925	1.182	1.000	0.925	1.094
TPA	0.790	1.076	0.831	0.951	0.851
TPS	0.824	1.270	1.000	0.824	1.046
PRIVADO	0.969	0.897	0.957	1.013	0.869
TOTAL	1.120	0.892	1.022	1.096	0.999

Cambios en la Productividad Total de los Factores año 2009-2008					
Puerto	CE	CT	CEP	CEE	IPM
Callao	0.741	0.845	1.000	0.741	0.626
Chimbote	1.096	0.937	1.076	1.019	1.027
Gral. San Martín	0.924	0.830	1.000	0.924	0.767
Ilo	0.343	0.871	0.960	0.357	0.299
Paita	1.000	0.824	1.000	1.000	0.824
Salaverry	1.287	0.937	1.007	1.277	1.206
PÚBLICO	0.832	0.873	1.007	0.826	0.726
Matarani	0.946	0.937	0.918	1.031	0.887
Angamos	1.000	0.992	1.000	1.000	0.992
ATI	1.012	0.977	1.072	0.944	0.989
ITI	0.897	0.885	0.933	0.962	0.795
San Vicente	0.946	0.787	1.128	0.838	0.745
STI	1.025	0.899	1.000	1.025	0.921
TPA	1.119	0.898	1.083	1.034	1.005
TPS	0.808	0.838	1.000	0.808	0.677
PRIVADO	0.965	0.899	1.014	0.952	0.868
TOTAL	0.906	0.888	1.011	0.896	0.804

Cambios en la Productividad Total de los Factores año: Promedio Anual					
Puerto	CE	CT	CEP	CEE	IPM
2005/2004	0.895	1.125	0.976	0.917	1.007
2006/2005	1.078	1.055	1.003	1.075	1.137
2007/2006	0.871	1.099	1.100	0.792	0.957
2008/2007	1.358	0.885	1.115	1.218	1.202
2009/2008	0.832	0.873	1.007	0.826	0.726
PÚBLICO	0.990	1.002	1.039	0.953	0.991
2005/2004	0.770	1.037	0.698	1.103	0.799
2006/2005	0.972	1.081	1.145	0.849	1.050
2007/2006	0.970	1.203	0.934	1.038	1.166
2008/2007	0.969	0.897	0.957	1.013	0.869
2009/2008	0.965	0.899	1.014	0.952	0.868
PRIVADO	0.925	1.017	0.937	0.987	0.941
2005/2004	0.821	1.074	0.806	1.019	0.882
2006/2005	1.016	1.069	1.082	0.939	1.087
2007/2006	0.926	1.157	1.002	0.924	1.072
2008/2007	1.120	0.892	1.022	1.096	0.999
2009/2008	0.906	0.888	1.011	0.896	0.804
TOTAL	0.963	1.006	0.973	0.989	0.969

Cambios en la Productividad Total de los Factores año: Promedio por puerto					
Puerto	CE	CT	CEP	CEE	IPM
Callao	0.966	0.991	1.000	0.966	0.957
Chimbote	0.817	0.979	1.036	0.788	0.800
Gral. San Martín	1.048	0.981	1.043	1.004	1.027
Ilo	1.012	1.043	1.061	0.953	1.055
Paita	1.015	1.063	1.000	1.015	1.078
Salaverry	1.107	0.957	1.095	1.011	1.059
PÚBLICO	0.990	1.002	1.039	0.953	0.991
Matarani	0.999	0.975	1.028	0.971	0.974
Angamos	1.000	1.036	1.000	1.000	1.036
ATI	0.854	1.016	0.751	1.138	0.867
ITI	0.936	1.034	0.951	0.984	0.968
San Vicente	1.063	1.018	1.116	0.952	1.082
STI	0.950	0.999	1.000	0.950	0.949
TPA	0.725	0.998	0.728	0.995	0.723
TPS	0.922	1.061	1.000	0.922	0.978
PRIVADO	0.926	1.017	0.937	0.987	0.941
TOTAL	0.953	1.010	0.980	0.972	0.962

Anexo V: Programación en MATLAB del IPM

Para el cálculo de las medidas de eficiencia y los cambios en la productividad se empleó el siguiente código realizado en Matlab 2010 (R2010a)

```
function [ETcrs, ETvrs, CT, CETP, CEE, CE, IPM]=
malmquist_input(XT,YT,XT1,YT1);
%-----
%% Propósito:
% Este programa calcula el índice de Malmquist con orientación input para
% dos años descomponiendo el cambio de la productividad total de los
% factores en cambio en eficiencia técnica pura, Cambio en eficiencia de
% escala y cambio tecnológico. Además de ello calcula las medidas de
% eficiencia técnica con tecnología constantes a escala y variables a
% escala.
%-----
%% Función: [ETcrs,ETvrs,CT,CETP,CEE,CE]=malmquist_input(XT,YT,XT1,YT1)
% donde:
% Variables de Salida
%     ETcrs = Eficiencia técnica con retornos constantes a escala
%     ETvrs = Eficiencia técnica con retornos variables a escala
%     CT = Cambio tecnológico
%     CETP = Cambio en eficiencia técnica pura
%     CEE = Cambio en eficiencia de escala
%     CE = Cambio en eficiencia técnica total (CE=CETP*CEE)
% Variables de Entrada
%     XT = Matriz total de inputs del periodo "t"
%     YT = Matriz total de outputs "t"
%     XT1 = Matriz total de inputs del periodo "t+1"
%     YT1 = Matriz total de outputs "t+1"
%-----
%% NOTAS:
%     Esta función calcula 4 funciones de distancia expresada en forma
%     envolvente y utilizando método Simplex para resolver cada %
%     programa.
%-----
%% REFERENCIAS:
%     Coelli, T.J.(1996)
%     Coelli, T.(1998)
%-----
%% Escrito por;
%     Pérez-Reyes R. & V.Chang
%     CREADO: 7/12/09
%-----
%% INICIO
%=====
%%
%Encontramos el numero de inputs(M), output(P) y número de DMU (N)
[M,N]=size(XT);
[P,N]=size(YT);
[M1,N1]=size(XT1);
[P1,N1]=size(YT1);
f=[1;zeros(N1,1)];
```

```

%Creamos las matrices a utilizar en el cálculo de las funciones de
%distancia
for i=1:N;
    A=[zeros(P,1),YT*(-1);XT(:,i)*(-1),XT];
    b=[YT(:,i)*(-1);zeros(M,1)];
    lb=zeros(length(f),1);

    A_t_t=[zeros(P,1),YT*(-1);XT(:,i)*(-1),XT];
    b_t_t=[YT(:,i)*(-1);zeros(M,1)];
    lb_t_t=zeros(length(f),1);

    A_t1_t1=[zeros(P,1),YT1*(-1);XT1(:,i)*(-1),XT1];
    b_t1_t1=[YT1(:,i)*(-1);zeros(M1,1)];
    lb_t1_t1=zeros(length(f),1);

    A_t1_t=[zeros(P,1),YT*(-1);XT1(:,i)*(-1),XT];
    b_t1_t=[YT1(:,i)*(-1);zeros(M,1)];
    lb_t1_t=zeros(length(f),1);

    A_t_t1=[zeros(P,1),YT1*(-1);XT(:,i)*(-1),XT1];
    b_t_t1=[YT(:,i)*(-1);zeros(M,1)];
    lb_t_t1=zeros(length(f),1);

%Escribimos las opciones del algoritmo de optimización
options = optimset('LargeScale','off','on');

%ESCALA=='VRS'
Aeq=[0,ones(1,N)];
beq=[1];

etv(:,i)=linprog(f,A,b,Aeq,beq,lb,[],[],options);
etv_t_t(:,i)=linprog(f,A_t_t,b_t_t,Aeq,beq,lb_t_t,[],[],options);

etv_t1_t1(:,i)=linprog(f,A_t1_t1,b_t1_t1,Aeq,beq,lb_t1_t1,[],[],options);
etv_t1_t(:,i)=linprog(f,A_t1_t,b_t1_t,Aeq,beq,lb_t1_t,[],[],options);
etv_t_t1(:,i)=linprog(f,A_t_t1,b_t_t1,Aeq,beq,lb_t_t1,[],[],options);

%ESCALA='CRS'
et(:,i)=linprog(f,A,b,[],[],lb,[],[],options);
et_t_t(:,i)=linprog(f,A_t_t,b_t_t,[],[],lb_t_t,[],[],options);

```

```

%% PROGRAMA: INDICE DE MALMQUIST Y EL DEA PARA UN PANEL DE DATOS
%-----
%% Propósito:
% Este programa calcula el índice de Malmquist para un panel de datos de
% varios años descomponiendo el cambio de la productividad total de los
% factores en:
%         -Cambio en eficiencia técnica pura (CETP)
%         -Cambio en eficiencia de escala (CEE)
%         -Cambio tecnológico (CT)
% Además de ello calcula las medidas de eficiencia técnica con tecnología
% constantes a escala (ETcrs) y variables a escala (ETvrs)
%-----
%% Escrito por;
% Pérez-Reyes R. & V.Chang
% CREADO: 7/12/09
%-----
%% INICIO
%=====
%
%
clear all;
clc;

DATA.x=(xlsread('DATA_EJEMPLO','INPUT'));
DATA.y=(xlsread('DATA_EJEMPLO','OUTPUT'));

%El programa empieza identificando el numero de DMU en cada año.
[n,m]=size(DATA.x);
[n,p]=size(DATA.y);

%t=numero de años
t=DATA.x(n,1);

%Extrae los valores de los inputs y outputs totales sin el contador
X=DATA.x(1:n,2:m);
Y=DATA.y(1:n,2:p);

%Encuentra el DMU de cada año y los almacena en el vector DMU
for j=1:t;
    a=find(DATA.x(:,1)==j);
    DATA.DMU(j,1)=length(a);
end;

DMUA=[0;cumsum(DATA.DMU)];

%Definimos el tamaño de la matriz donde se agruparán todo los valores de
%CETP, CEE, CT. Además de ello, muestra el cambio en eficiencia técnica
%total (CE=CETP*CEE).
%La descomposición del Índice de productividad total de los factores de
%Malmquist(IPM)será almacenado en una lista de nombre IPM

```

```

IPM.CETP=zeros(max(DATA.DMU),t-1);
IPM.CEE=zeros(max(DATA.DMU),t-1);
IPM.CT=zeros(max(DATA.DMU),t-1);
IPM.CE=zeros(max(DATA.DMU),t-1);
IPM.IPM=zeros(max(DATA.DMU),t-1);

for j=1:t;
a=find(DATA.x(:,1)==j);
h(j,1)=length(a);
B=[zeros(1);cumsum(h)];

%Crea las matrices de inputs(XT), outputs(YT) y f
XT=[X(((B(j)+1):B(j+1)),:))];
YT=[Y(((B(j)+1):B(j+1)),:))];
[M,N]=size(XT);

if j<length(DATA.DMU);
XT1=[X(((DMUA(j+1)+1):DMUA(j+2)),:))];
YT1=[Y(((DMUA(j+1)+1):DMUA(j+2)),:))];

XT2=XT1(:,1:N);
YT2=YT1(:,1:N);
end;
%% Aquí se deberá escoger la función según la orientación del programa
%(input o output)

[DEA.ETcrs(:,j),DEA.ETvrs(:,j),IPM.CT(:,j),IPM.CETP(:,j),IPM.CEE(:,j),
IPM.CE(:,j), IPM.IPM(:,j)]=malmquist_output(XT,YT,XT1,YT1)

end;
%La función input_malmquist y output malmquist nos arrojará para el
%último
%año valores de "1" vara el CETP, CEE, CT y por ende CE. puesto que no se
%tiene con que otro año comparar. Por ello se extrae el último año dentro
%del cálculo de cambio del IPM
IPM.CETP=IPM.CETP(:,1:t-1);
IPM.CEE=IPM.CEE(:,1:t-1);
IPM.CT=IPM.CT(:,1:t-1);
IPM.CE=IPM.CE(:,1:t-1);
IPM.IPM=IPM.IPM(:,1:t-1);

xlswrite('DATA_EJEMPLO',DEA.ETcrs,'ETcrs')
xlswrite('DATA_EJEMPLO',DEA.ETvrs,'ETvrs')
xlswrite('DATA_EJEMPLO',IPM.CETP,'CETP')
xlswrite('DATA_EJEMPLO',IPM.CEE,'CEE')
xlswrite('DATA_EJEMPLO',IPM.CT,'CT')
xlswrite('DATA_EJEMPLO',IPM.CE,'CE')
xlswrite('DATA_EJEMPLO',IPM.IPM,'IPM')

```